

Ventilation i höga trapphus vid händelse av brand

*- En studie av problematiken vid
trycksättning av höga trapphus*

Jill Gullberg

**Division of Fire Safety
Engineering Lund University,
Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5493, Lund 2016

Ventilation i höga trapphus vid händelse av brand.

– En studie av problematiken vid trycksättning av höga trapphus

Jill Gullberg

Lund 2016

Ventilation i höga trapphus vid händelse av brand
Ventilation in high rise staircases in case of fire

Jill Gullberg

Report 5493

ISRN: LUTVDG/TVBB-5493--SE

Number of pages: 126

Illustrations: if not specified, by author

Keywords

PFS, pressurization, stairwells, ventilation.

Sökord

PFS, Övertrycksättning, Trapphus, ventilation.

Abstract

This thesis investigates possible problems due to pressurization of high staircases. The main problem arising when high enclosures are not pressurized in sections in the event of fire is that an imbalance of the pressure profile in the building occurs. Pressure difference between the stairwell and adjacent rooms becomes large enough that the doors to the stairwell may be difficult to open and close. This poses problems to stairwells which both aim to be good fire compartment as well as being a safe escape route. The thesis investigates ventilation technologies and methods used today to solve the problem. Large focus is placed on theories and previous research projects carried out. Some of the solutions are also examined in the computer program PFS.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2016.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Förord

Följande examensarbete har genomförts på avdelningen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola. Arbetet avslutar utbildningen till Brandingenjör och Civilingenjör i Riskhantering och omfattar 30 högskolepoäng. Under arbetets gång har författaren fått mycket hjälp och stöttning och vill därför rikta ett stort tack till:

Handledare Jonathan Wahlqvist, doktorand vid Avdelningen för Brandteknik LTH.

Examinator, Patrick Van Hees, professor vid Avdelningen för Brandteknik LTH.

Min nya förebild, en person som har diskuterat lösningar med mig och gav tips hela vägen igenom, Lars Jensen professor för avdelningen installationsteknik.

Till de kärnkraftverk som ställde upp på att redovisa sina problem och lösningar med att trycksätta höga trapphus.

Vänner och familj ska även ha ett stort tack, för korrekturläst texter och peppat mig genom hela detta arbete. Extra stort tack till Joakim Olander, Lise Westlundh, Erika Parfors, Jenny Gramenius och Olof Martin Åkesson.


Denna rapport har lärt mig mycket om livets hårda skola. Fast det löser sig alltid, för när inte plan A fungerar eller plan B så finns det ett helt alfabet att tillgodose. Lise Westlundh, utan de kloka orden hade detta blivit jobbigare än de redan var.

Nära eller fjärran så kommer jag aldrig glömma slitet med detta arbete och den hjälp du gav mig Jocke.

At last, a big thank you to Denis Hellebuyck who deleted my whole thesis when I was done to 50 %, your mistake made me rewrite the whole thing which made me learn so much more. Plus you owe me a BIG ONE for the rest of your life.

Jag vill även rikta ett stort tack till NBSG, Nationella brandsäkerhetsgruppen som sponsrat detta examensarbete.

Trelleborg maj 2016



Jill Gullberg

Akronymer

BBR- Boverkets byggregler - En samling regeltexter som ställer byggkrav på byggnader. Regeltexterna berör flertalet byggingdiscipliner, bland annat allmänna regler, dimensionering och brandskydd.

Tr1- Trapphus Tr1- Trapphusklass utformade med avskiljande konstruktion för att begränsa brand- och brandgasspridning till trapphuset. Trapphusen bör endast ha förbindelse med andra utrymmen genom en brandsluss. De klassade trapphusen är specificerade i regeltexterna från BBR

Tr2- Trapphus Tr2- Utformade med avskiljande konstruktion för att begränsa brand- och brandgasspridning till trapphuset. Trapphusen bör endast ha förbindelse med andra utrymmen genom en annan brandcell. De klassade trapphusen är specificerade i regeltexterna från BBR

PFS- Program for Flow Systems - Program som används för att beräkna för att beräkna flöden och tryckskillnader i ventilationssystem

Sammanfattning

En vanlig ventilationsteknisk lösning är att övertrycksätta höga trapphus vid händelse av brand. Övertrycksättning av trapphus syftar till att förhindra brand- och brandgasspridning in till trapphuset. Denna metod kan dock medföra flertalet problem vilka denna rapport avser att undersöka.

En mängd faktorer påverkar hur tryckuppbygganden i ett trapphus ser ut, där ibland personbelastning, läckage och temperaturförhållanden. Ett problem som kan uppstå är att tryckskillnaden mellan våningsplanen som är anslutna till trapphuset och trapphuset i sig självt kan bli för stort för att anses vara acceptabelt. Konsekvenser av stora tryckskillnader är att det försvårar öppning samt stängning av dörrar i anslutning till trapphuset. Av utrymnings-skäl är det avgörande att dörrarna går att öppna, problemet med svårstängda dörrar är kopplat till det faktum att om en dörr står öppen är brandcellsgränsen bruten och brand- och brandgasspridning kan ske.

I rapporten har möjliga lösningar på trycksättningsproblematiken undersökts med hjälp av en litteraturstudie, en riskanalys, teoretiska resonemang samt simuleringar i datorprogrammet PFS. Syftet med rapporten var att analysera samt identifiera olika möjligheter att påverka ett ventilationssystem, där olika ventilationstekniska metoder undersöktes samt passiva metoder som också hade påverkan på ventilationssystemet. Det undersöktes även hur svenska, samt internationella kärnkraftverk förhåller sig till problemet. Trycksättningsproblematiken studerades genom tre olika driftfall, där ett antal underscenarior med möjliga ventilationstekniska lösningar sedan undersöktes. Driftfallen identifierades utifrån hur olika kärnkraftverk idag styr sin ventilation. Metoderna undersöktes med hjälp av den genomförda litteraturstudien, lärdomar från system i drift idag, en riskanalys samt simuleringar.

Arbetet har identifierat ett antal förslag på metoder som kan vara möjliga lösningar:

- Utbyte av dörrar
- Installation av backspjäll i trapphuset till varje anslutande utrymme
- Motverka den termiska tryckuppbyggnaden genom att ventilera trapphuset
- Inställning av dörrar samt dörrstängare
- Styrning av spjäll, både backspjäll och brandgasspjäll

Vissa av ovanstående implementeringar kan i sig själva vara fullständiga, dock inte samtliga. Aktivering av exempelvis dörrstängare är endast ett komplement för att höja robustheten och det krävs en kompletterande åtgärd som exempelvis installation av backspjäll för den ska bli fullständig. Implementeringarna är därför ofullständiga lösningar var för sig, utan kräver en kombination av de olika metoderna för att problemet i sin helhet ska kunna lösas. Det krävs dock vidare studier på samtliga metoder och deras kombinationer för att säkerställa deras funktionalitet. Metoden som utnyttjar backspjäll i trapphuset finns ej i praktiken idag och behöver därför testats praktiskt för att utreda om metoden är robust. Förutom de förslag på implementeringar som presenteras ovan, undersöktes olika metoder för att styra ventilationen, exempelvis styrning av fläktar.

Slutsatsen av rapporten är att ventilationssystem där både till- och frånluftsfläktarna fortsätter vara i drift vid händelse av brand är att rekommendera. Kombination av olika ventilationstekniska lösningar innebär att trapphus kan trycksättas utan att riskera att trapphus ej fungerar som utrymningsväg eller att brandcellsgränser bryts.

Summary

Pressurization within high stairwells is a known way of preventing fire spread, however, it does not come without problems. A variety of factors influence what the pressure build up in a stairwell looks like including human load, leakage and temperature conditions. A potential problem is that the pressure difference between floors directly connected to the stairwell and staircase can become so large that it cannot be accepted. A consequence of the large pressure differences is that it can be difficult to open and close the doors in the staircase. It's important that the doors can be opened otherwise there is a risk that people can't evacuate. The stairwell should be an own fire compartment and separated from the floors, a requirement which is not fulfilled if the doors to the stairwell do not close properly.

In the thesis, possible solutions to pressurization problems have been investigated by means of a literature study, a risk analysis, theoretical arguments and simulations by means of the computer software PFS. The aim of the thesis was to analyze and identify different possibilities to control a ventilation system. A literature review was conducted, in which different ventilation techniques were investigated and an analysis was made on how different nuclear plants handle this problem. The problem set was studied by analyzing three different scenarios in which a number of solutions then were examined. The scenarios were selected after studied how different nuclear plants controls their ventilation. The solutions were investigated by means of the distribution made from this literature, lessons learned from systems in operation today and simulations.

This work has identified a number of solutions:

- Replacement of doors
- Installation of a back draft in the stairwell to each adjoining compartment
- Counteract the thermal pressure build-up by venting the stairwells
- Settings of doors and door closers
- Control of dampers, both return damper and smoke dampers

The following solutions can be independent solutions but not all of them. For example door closers are only a complement and to solve the problem another solution needs to apply for i.e. return dampers in the stairwells. However, this requires further study of all methods and their combinations in order to ensure their functionality. None of the solutions have been tested in practice yet and are based on theory and theoretical studies of existing systems. The solution with back draft in the stairwell is not available today and will need to be tested in practice to investigate whether it is robust enough. In addition to the solutions presented above, various methods to control ventilation were investigated, for example control of fans. The author is of the opinion that a ventilation system where both the air supply and the extract of air continues to go in the event of fire is to be recommended. A combination of different ventilation technology solutions means that the stairwells can be pressurized without risking that the stairwell is not working as an evacuation route or risk that the fire compartment is not intact.

Innehållsförteckning

Förord.....	vii
Akronymer	ix
Sammanfattning.....	xi
Summary	xiii
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Problemställning.....	1
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Disposition.....	2
2. Metod	5
2.1 Litteraturstudie	5
2.2 Problemidentifiering.....	5
2.3 Simuleringar	5
2.4 Analys.....	7
3. Teoretisk bakgrund.....	9
3.1 Brandförloppsteori.....	9
3.2 Spridningsteori i ventilationssystem vid händelse av brand.....	10
3.2.1 Brandflöde	10
3.2.2 Kanalbrandflöde	10
3.2.3 Brandgasspridning.....	10
4. Trapphus.....	13
4.1 Trapphus, Tr1	13
4.2 Trapphus, Tr2	13
5. Ventilationstekniskt brandskydd	15
5.1 Stoppade fläktar.....	15
5.2 Fläktar i drift.....	15
5.3 Reglering av fläktar	16
5.4 Separat ventilationssystem	16
5.5 Backspjäll	16
5.6 Brandgasspjäll	16
5.7 Trycksättning.....	17
5.8 Tryckavlastning	18

5.9 Konvertering till frånluftssystem	18
5.10 Konvertering till tilluftssystem.....	18
5.11 Brandgasventilation.....	18
5.12 Termisk trycksättning.....	20
6. Ventilation på befintliga kärnkraftverk	21
6.1 Ringhals.....	21
6.2 Oskarshamns kärnkraftverk, OKG	21
6.3 Forsmark.....	22
6.4 Finland.....	22
6.5 England.....	22
6.6 Sammanfattning.....	23
7. Problemformulering	25
8. Riskanalys – identifiering av åtgärder	31
8.1 Driftfall 1.....	32
8.1.1 Analys driftfall 1	36
8.2 Driftfall 2.....	38
8.2.1 Analys- driftfall 2	43
8.3 Driftfall 3.....	43
8.3.1 Analys- driftfall 3	46
8.4 Sammanfattning driftfall	47
9. Åtgärder Driftfall 1 - Frånluft i drift vid brand	49
9.1 Åtgärd - Konvertera till frånluft	52
9.2 Åtgärd - Backspjäll i trapphus.....	54
9.3 Åtgärd - Stänga samtliga brandgasspjäll för frånluften i kombination med tryckavlasta med hjälp av backspjäll.....	58
9.4 Åtgärd – Reglering alternativt utbyte av dörrar.....	61
9.5 Sammanfattning driftfallåtgärder driftfall 1	63
10. Åtgärder Driftfall 2 - Från- och tilluftsfläkten i drift vid brand	65
10.1 Åtgärd - Backspjäll i trapphus.....	68
10.2 Åtgärd – Brandgasspjäll på all frånluft	72
10.3 Åtgärd – Brandgasspjäll på all frånluft i kombination med backspjäll	74
10.4 – Sammanfattning driftfallåtgärder driftfall 2	76
11. Åtgärd - Driftfall 3 - Från- och tilluften stänger vid brand	77
11.1 Åtgärd - Backspjäll i trapphus.....	80

11.2 Sammanfattning driftfallåtgärder för driftfall 3.....	83
12. Resultat.....	85
13. Diskussion.....	87
13.1 Arbetsgången.....	87
13.2 Litteraturstudien.....	87
13.3 Riskanalys – identifiering av åtgärder.....	88
13.4 Analys av driftfall.....	88
13.5 PFS.....	89
13.6 Felkällor.....	89
14. Framtida studier.....	91
15. Slutsatser.....	93
16. Referenser.....	95
16.1 Personlig kommunikation.....	96
Bilaga A.....	97
Bilaga B.....	99
Bilaga C.....	109

1. Inledning

I inledande kapitlet beskrivs rapportens bakgrund, syfte, mål, problemställning samt de avgränsningar som gjorts.

1.1 Bakgrund

Ringhals är Sveriges största kärnkraftverk och är i stort behov av ett välfungerande brandskydd. En viktig del av brandsäkerheten i en byggnad är att brandspridning ej sker mellan olika brandceller samt att personer i byggnaderna kan utrymma säkert. För att förhindra att brand- och brandgasspridning sker mellan brandceller är det av stor vikt att brandtekniska installationers funktion kan säkerställas. Viktiga utrymningsvägar är trapphusen. Dessa är utrustade med övertrycksfläktar som aktiveras vid händelse av brand. När övertrycksfläktarna startar uppstår stora tryckskillnader samt flöden, vilket resulterar i att branddörrar angränsande till trapphuset kan bli svåra att öppna eller stänga.

För att försäkra att lokaler har en säker och funktionell utrymningsplan, är det ytterst viktigt att branddörrar går att öppna och stänga på ett enkelt vis. Om de är svåröppnade eller rent av inte går att öppna, är risken att personer inte kan utrymma stor. Branddörrar som ej går att stänga innebär även att brandcellsgränser bryts vilket kan komma att påverka brand- och brandgasspridning i både angränsande brandceller och i utrymningsvägar samt släck- och räddningsinsatser.

Rapporten fokuserar på problematiken som uppstår i trapphus och anslutande brandceller. Det noteras dock att liknade problem kan uppkomma mellan andra brandceller och liknade åtgärder kan vidtas i dessa fall.

1.2 Syfte och mål

Rapporten syftar till att studera samt analysera metoder för att påverka ventilationen för att säkerställa säker utrymning via trapphus samt upprätthålla brandcellsgränser vid händelse av brand. Rapporten syftar även till att undersöka hur ett antal kärnkraftverk utformat ventilationen i trapphus samt i angränsande rum till trapphusen för att undersöka funktionen av dessa system.

Rapportens mål är att analysera samt eventuellt arbeta fram en ny metod som anses vara applicerbar på verksamheter samt byggnader med motsvarande problematik. Arbetet avser även att sammanställa hur andra kärnkraftverk använder sig av ventilationen i trapphus vid händelse av brand samt om det finns möjlighet att implementera metoderna i trapphus där problemet med för höga tryck finns.

1.3 Problemställning

Rapporten kommer undersöka följande frågeställningar:

- Hur kan ventilationssystem samt andra tekniska funktioner utformas för att trapphus skall fungera som utrymningsväg och samtidigt upprätthålla brandcellsgränser vid händelse av brand?
- Vilka metoder använder andra kärnkraftverk för att försäkra personsäkerheten och att brandcellsgränserna upprätthålls i trapphus vid händelse av brand?

1.4 Avgränsningar

Rapporten utgår från att ventilationssystem och andra brandtekniska funktioner upprätthålls och fortsätter fungera i händelse av brand. Felande system och funktioner bortses ifrån vid analysen av de olika möjliga lösningarna för driftfallen. Dock genomförs en riskanalys för att identifiera alternativa problem och lösningar.

Ett antal driftfall undersöks vilket är ett urval av problem som identifierats på kärnkraftverket Ringhals samt andra befintliga kärnkraftverk. Ett urval av de metoder som undersöks som möjliga lösningar för driftfall presenteras endast med stöd av teori. Många metoder som undersökts har specialister forskat och räknat på och därav anses teorierna vara tillförlitliga.

Övriga kärnkraftverk som undersöks har begränsats till kärnkraftverk inom Europeiska Unionen och ingen kostnad/nytta-analys har genomförts på åtgärdsförslagen, då detta anses ha begränsat författarens möjlighet till att undersöka den mängd och variation av metoder.

Information gällande de övriga kärnkraftverkens ventilationssystem begränsas av den information som kärnkraftverken själva väljer att förmedla och varierar därför från fall till fall.

Riskanalysen undersöker endast möjliga lösningar till driftfallen. Inga beräkningar genomförs i riskanalysen, då fokuset endast är att utröna möjliga åtgärder för vidare analys. Analysens åtgärdsförslag kommer ej att begränsas av Ringhals ventilationssystem.

1.5 Disposition

För att underlätta orientering vid läsning av rapporten presenteras kapitlen i detta avsnitt.

Kapitel 2- Metod

Rapportens metod presenteras i kapitel 2. Kapitlet beskriver hur litteratur, tillsammans med tidigare erfarenheter och datorprogram, används för att besvara rapportens frågeställningar.

Kapitel 3- Teori

I kapitel 3 presenteras den grundläggande teori som är grunden för arbetet i rapporten.

Kapitel 4- Trapphus

Kapitel 4 beskriver trapphusens syfte samt de krav som ställs på dem utifrån rådande lagstiftning.

Kapitel 5- Ventilationstekniskt brandskydd

Kapitel 5 beskriver ett antal ventilationstekniska lösningar där samtliga kommer undersökas som en potentiell lösning till de tre driftfallen som presenteras i kapitel 9-11. Lagstiftningens krav på de olika lösningarna presenteras även i kapitel 5.

Kapitel 6- Ventilation på befintliga kärnkraftverk

Hur andra kärnkraftverk har arbetat med problemen med att trycksätta trapphus samt vilka problem som kvarstår presenteras i kapitel 6. Kapitlet ligger till grund för vissa av de ventilationstekniska implementeringarna som undersöks i kapitel 8-10.

Kapitel 7- Problemformulering

I kapitel 7 formuleras problemet med att trycksätta höga trapphus. Vad innebär det för problem med att öppna dörrar, samt hålla intakta brandceller?

Kapitel 8- Riskanalys -identifiering av åtgärder

I kapitel 8 genomförs en riskanalys på de tre olika driftfallen. En *what if- analys* har använts för att identifiera problem samt möjliga metoder för styrning av ventilationen.

Kapitel 9- Driftfall 1

Driftfall 1 beskriver först ett ventilationssystem som vid händelse av brand stänger tilluften samtidigt som frånluften fortfarande är i drift. Brandgasspjäll stänger till brandrummet och en övertrycksfläkt startar i trapphuset. Ett antal metoder undersöks i kapitlet samt görs teoretiska analyser och driftfallet simuleras i datorprogrammet PFS.

Kapitel 10- Driftfall 2

Driftfall 2 som beskriver ett ventilationssystem som vid händelse av brand stänger både tilluften och frånluften. Brandgasspjäll stänger till brandrummet och en övertrycksfläkt startar i trapphuset. Ett antal metoder undersöks i kapitlet samt görs teoretiska analyser och driftfallet simuleras i datorprogrammet PFS.

Kapitel 11- Driftfall 3

Kapitel 11 beskriver driftfall 3 som beskriver ett ventilationssystem som vid händelse av brand tillåter ventilationssystemet att vara i drift som vid normalläge. Varken från- eller tilluften stänger. Brandgasspjäll stänger till brandrummet och en övertrycksfläkt startar i trapphuset. Ett antal metoder undersöks i kapitlet samt görs teoretiska analyser och driftfallet simuleras i datorprogrammet PFS.

Kapitel 12- Resultat

I kapitel 12 presenteras vilka rapportens slutsatser.

Kapitel 13- Diskussion

Kapitel 13 innehåller diskussion och analys av driftfallen samt vad testade metoderna i de olika scenarierna innebär. Paralleller till teorin samt befintliga system diskuteras.

Kapitel 14- Framtida studier

Förslag på framtida studier diskuteras.

Kapitel 15- Slutsatser

Slutsatsen av rapporten samt där återkoppling till målen presenteras.

Kapitel 16- Referenser

De referenser rapporten bygger på presenteras här.

2. Metod

I följande del beskrivs Rapportens metod vars syfte är att besvara arbetets problemställning. Metoden består av fem delar:

- Litteraturstudie
- Problemidentifiering
- Simuleringar
- Analys av resultat
- Diskussion

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes för att få en fördjupad kunskap inom området samt för att ligga till grund för riskanalys, analys och diskussion. Litteratur berörande olika ventilationstekniska metoder för att upprätthålla tekniska funktioner vid händelse av brand har utgjort basen av litteraturstudien. Fokus på teorier angående brand- och brandgasspridning i ett ventilationssystem har även undersökts. Mycket av litteraturen som använts har valts efter diskussion med konsulter, handledare samt genom sökning på Lunds universitets elektroniska databas, LUBsearch (EBSCO, 2013). Inom ämnet finns det begränsat med litteratur, dock anses litteraturen tillförlitlig samt relevant. Därför har författaren ej haft problem med att finna relevant information.

Litteraturstudien presenteras i kapitel 3-5. Studien identifierade bland annat ett antal ventilationstekniska metoder som kan vara lämpliga att nyttja för byggnader med höga trapphus som övertrycksätts vid händelse av brand.

2.2 Problemidentifiering

Tre driftfall identifierades vilka sedan låg till grund för analysen. De problem som identifierades var ventilationstekniska implementeringar som används på olika verksamheter. Varje driftfall beskrevs med hjälp av litteratur och undersöktes sedan i en riskanalys för identifiering av möjliga metoder. Utifrån de problem som uppmärksammats med specifika metoder utvärderades alternativa metoder. De förslagna implementeringarna utvärderades med hjälp av litteraturstudien, riskanalysen, PFS samt slutsatser från befintliga system då det finns tillgängligt.

2.3 Simuleringar

Genom simuleringar kunde vissa specifika problem påpekas med de driftfalldriftfall som presenterades. Simuleringarna visar tydligt hur samtliga tre driftfall får problem med för höga tryck i trapphuset och för höga tryckskillnader mellan trapphuset och anslutande våningsplan.

Datorprogrammet PFS- Program for Flow Systems beskriver ett flödessystem med hjälp av en textfil. Programmet har vissa begränsningar. Bland annat får textfilen högst innehålla 400 rader med 160 tecken per rad. Antalet beräkningselement begränsas till 1000 och antalet obekanta till 100 samt högst

100 av antalet problem i ett *begin-end*-block. En fördel med programmet är att ett antal små problem kan lösas samtidigt. Den utdatafil programmet producerar är identisk med indatafilen med tillägget att den visar de utskrifter som efterfrågats (Jensen, 1996).

De egenskaper flödesvägarna tilldelas beskrivs med hjälp av textelement i anslutning till den uppritade grafiken. Med hjälp av textelement kan flödessystemet definieras som öppet eller stängt. Testelementen kan även användas för att beskriva dimensioner samt begränsningar med flödessystemet (Jensen, 1994a).

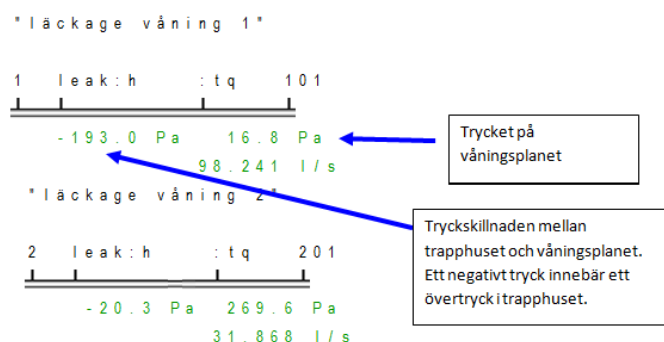
Många verkliga flödessystem är för stora för att beskrivas sammanhängande i PFS och kan då delas upp. Med hjälp av knutpunktselement kan ett system delas upp utan att tryckförluster uppkommer. Denna metod är använd för att beskriva systemen som speglar driftfallen beskrivna i kapitel 9-11.

För att använda PFS måste användaren definiera vilken typ av flöde, tryck och effekt systemet ska ha. Även ett antal grundtextelement måste definieras som diameter, längd, tryckförluster, läckage, volymflöde med mera. När dessa utskrifter skrivs in i indatafilen är det ett måste att de definieras i rätt ordning för att PFS ska använda data på rätt vis (Jensen, 1994a).

När beräkningar för brandgasspridning ska genomföras är parametern trix något som är av stor vikt. Trix är en störning i systemet. PFS räknar på ett givet flödessystem med definierade dimensioner och flöden, vid händelse av brand kommer ett annat flöde uppstå som en störning i systemet. För att programmet ska veta att en störning har uppkommit i systemet måste en tvångsberäkning även kallad trix ansättas. Exempelvis används trix 1 för att definiera normalfall när systemet är i balans och trix 3 används när det är en brand i systemet som utövar en störning (Jensen, 1994a).

För att undersöka om brandgasspridning sker i ett system kan olika motstånd samt läckage definieras. Ett motstånd kan exempelvis symbolisera ett backspjäll eller brandgasspjäll (Jensen, 1994a).

I simuleringarna är det de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och anslutande våningsplan som är av största intresse. Tryckskillnaden vid trix 3 kan läsas av som det första trycket vid geometrin som presenterar läckaget vid våningsplanen. Figur 1 visar exempel på tryckskillnaden mellan trapphus och våningsplan.



Figur 1 Avläsning av tryckskillnader i PFS

2.4 Analys

Resultatet av simuleringarna, litteraturstudien samt riskanalysen användes sedan för att utvärdera de olika förslagna metoderna. Utifrån dessa slutsatser besvarades frågeställningarna som rapporten ställt. Analysen fokuserade på att genom teoretiska resonemang och dragna slutsatser från litteraturstudien, riskanalysen samt driftfallen och simuleringarna att utvärdera huruvida de förslagna metoderna fungerar eller ej.

Ett urval av de undersökta metoderna är implementerade redan idag och i dessa fall genomfördes analysen endast med hjälp av litteraturstudien och befintliga erfarenheter. Det föreligger stora svårigheter att illustrera ett fullständigt ventilationssystem i PFS, och p.g.a. arbetets begränsning ansågs det mer givande att lägga större fokus på litteratur och erfarenheter.

En riskanalys genomfördes även för varje driftfall, vilken i sin tur syftade till att driftfallundersöka möjliga metoder och avgöra om de är troliga lösningar eller ej. Utifrån analysen valdes ett antal metoder som undersöktes vidare.

3. Teoretisk bakgrund

Nedan beskrivs översiktligt hur ett brandförlopp ser ut samt hur brand- och brandgasspridning sker i ett ventilationssystem. För att få förståelse för problemformuleringen samt de förslag på lösningar som presenteras är det av stor vikt att en förståelse för brand- och spridningsteori skapas. Den teori som presenteras nedan agerar grunden för rapporten.

Rapporten fokuserar på ventilation i trapphus vilket innebär att de lagar samt branschstandarder som gäller för trapphus är av stort intresse. I kapitlet ges en allmän introduktion över vad det finns för brandklassade trapphus samt vad för krav det ställs på dem.

3.1 Brandförloppsteori

För att en brand ska kunna uppstå krävs det tillgång på syre, bränsle samt energi. Tiden från att antändning av branden sker till dess att den slocknar, är ett så kallat brandförlopp. Nedan beskrivs kort ett generellt brandförlopp.

Vid händelse av brand i en byggnad kan brandförloppet delas upp i fyra faser.

1. Det tidiga brandförloppet
2. Övertändning
3. Fullt utvecklade brand
4. Avsvalningsfas

I det tidiga brandförloppet sker brandens tillväxt och kallas i vissa sammanhang för förbränningsfasen. Hur intensiv och varaktig den första fasen av brandförloppet är, vilket innefattar antändning fram till övertändning, beror på stor del på tillgången av syre. Finns det inte tillräckligt med syre finns en möjlighet att branden självslocknar, och övertändning uteblir. I regel är dock det tidiga brandförloppet oftast bränslekontrollerat vilket innebär att det är tillgången av bränsle som är begränsande och inte syretillgången (Brandskyddshandboken, 2012; Karlsson, B., & Quintiere, J, 2000; Svensson, 2006).

Får en brand växa i ett begränsat utrymme med tillräcklig tillgång till syre och bränsle så kommer temperaturen i brandrummet bli tillräckligt hög för att övertändning ska kunna ske. Övertändning innebär att alla brännbara ytor i brandrummet är involverade i förbränningen. Vid övertändning är ofta brandgastemperaturen kring 500 °C och strålningen från brandgaslagret överstiger oftast 20 kW/m², (Karlsson, B., & Quintiere, J, 2000; Svensson, 2006). Övertändning är endast en övergångsfas från en tillväxande brand till en fullt utvecklade brand. Den fullt utvecklade branden har en brandgastemperatur kring 800- 900 °C och är i regel ventilationskontrollerad, det vill säga syret är den begränsande faktorn för brandens utveckling (Brandskyddshandboken, 2012; Karlsson, B., & Quintiere, J, 2000; Svensson, 2006).

När brännbart material börjar ta slut eller att en släckinsats utförs, slocknar branden och temperaturen sjunker vilket innebär att brandförloppet är inne i avsvalningsfasen.

3.2 Spridningsteori i ventilationssystem vid händelse av brand

Vid händelse av brand i en byggnad föreligger det alltid en risk för brand- och brandgasspridning från brandrummet till andra delar av byggnaden. Brand- och brandgasspridning kan ske genom exempelvis håligheter, öppna dörrar och ventilationssystemet. Nedan redogörs kort hur och varför brand- och brandgasspridning sker i en byggnad. (Gordonova, personlig kommunikation, 2012-01-30)

3.2.1 Brandflöde

Vid händelse av en brand kommer luften värmas upp i brandrummet. När gaser värms upp expanderar de. Luften som expanderar i ett brandrum per tidsenhet kallas brandflödet. Brandflödet bidrar till en tryckuppbyggnad i brandrummet, vilket är beroende av brandflödets storlek, brandrummets volym, tryckfallet i ventilationssystemet och ventilationssystemets normalflöden. Dimensionerade brandflödets storlek är direkt proportionellt mot effekten som branden tillför luftvolymen i brandrummet (Brandskyddshandboken, 2005; Gordonova, 1998).

Tryckuppbyggnaden i brandrummet kan komma upp i storleken 1000- 2000 Pa och trycket ökar så länge brandflödet ökar, vilket det antas göra så länge det finns tillgång på syre i brandrummet. En brand kan utnyttja syret ner till en nivå på 10 % därefter måste brandrummets klimatskal gå sönder, exempelvis genom att ett fönster krossas, för att brandflödet ska öka i storlek. Fönster går i regel sönder på grund av att temperaturen i brandrummet stiger. En temperatur på cirka 350 °C erfordras ofta för att fönster ska gå sönder. Om fönster går sönder eller någon annan del av barriären går sönder minskar risken för brand- och brandgasspridning genom ventilationen markant då utrymmet tryckavlastas (Backvik et al., 2008). Sker ingen tryckavlastning genom att klimatskalet ger vika eller att åtgärder implementeras kommer brandgasspridning ske då den expanderade luften måste ha någonstans att ta vägen.

3.2.2 Kanalbrandflöde

Den tryckuppbyggnad som sker i brandrummet kommer innebära att brandgaser samt luft kommer tryckas ut ur brandrummet genom bland annat otätheter och ventilationssystemet. Den del av brandflödet som trycks in i ventilationssystemet benämns kanalbrandflöde. Faktorer som normalflöde, normala tryckfall i ventilationssystemet och läckageytornas storlek påverkar kanalbrandflödets storlek. Ett lägre kanalbrandflöde uppnås om lokalerna är utrustade med uteluftsdon, då en del av brandflödet kommer att transporteras ut genom dessa (Backvik et al, 2008).

3.2.3 Brandgasspridning

Brandgasspridning i ett från- och tilluftssystem sker oftast initialt via tilluften. Orsaken är att brandtrycket ej behöver vara lika högt för att spridning ska ske genom tilluften jämfört med frånluften. Gränsfallet för spridning via tilluften är när tilluftsflödet i brandrummet är noll. Det erfordras ett tryck i brandrummet som är lika stort som normaltrycket i anslutningspunkterna, vilket normalt är runt 20-100 Pa (Jensen, 2008).

När brandgasspridning sker via tilluften sprids det först neråt i byggnaden och om brandrummet ligger nederst i byggnaden sker brandgasspridning uppströms till intilliggande brandceller. Tryckfallet över anslutningspunkter ligger på runt 20- 100 Pa jämfört med de tryck som kan uppkomma i ett brandrum på 1000-2000 Pa. För att förhindra brandgasspridning via tilluften krävs det åtgärder som gör att

ventilationssystemet kan ta hand om kanalbrandflödet eller förhindra att brandflödet trycks in i systemet, exempelvis brand- och brandgasspjäll (Jensen, 2006a).

4. Trapphus

Huvudmålet med de undersökta trapphusen är att fungera som en säker utrymningsväg. Trapphusen syftar även till att förhindra brandgasspridning samt underlätta för släck- och räddningstjänstinsats.

Under rådande normalförhållande i ett oventilerat trapphus, där omgivningsluften är kallare än luften i trapphuset, råder ofta ett övertryck i övre delen samt ett undertryck i nedre delen av trapphuset. Ett slutet, oventilerat, trapphus som är anslutet till flera våningsplan innebär det att de sker infiltration på de nedre våningarna och exfiltration på de övre våningsplanen (Jensen, 2006).

I lagstiftningen finns det två olika kategorier på trapphus, trapphus Tr1 och trapphus Tr2.

4.1 Trapphus, Tr1

Trapphus Tr1 är den klass som ställer högst krav på ett trapphus säkerhet och skydd för utrymmande personer. De rekommenderas för trapphus som ingår i klassen Tr1 att passagen till trapphuset bör ske genom en sluss. Trapphus Tr1 ska alltid utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas, (BFS 2011:26).

Nedan presenteras ett utdrag från Boverkets byggregler, BBR:

5:245 Trapphus Tr1

Trapphus Tr1 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas. (BFS 2011:26). Allmänt råd

Avskiljande konstruktion bör utformas i lägst brandteknisk klass EI 60. Trapphuset bör endast ha förbindelse med andra utrymmen genom en brandsluss som är öppen mot det fria. Hisschakt kan dock placeras i trapphuset som en del av samma brandcell som trapphuset. Varken trapphus, hisschakt eller brandsluss bör stå i förbindelse med ett plan som är beläget under det plan som används för utrymning mot det fria.

Dörrar mellan trapphuset och brandslussen bör utformas i lägst brandteknisk klass E 30-SmC. Dörrar mellan bostad eller lokal och brandslussen bör utformas i lägst brandteknisk klass EI 60-SmC. Om brandslussen gränsar till förbindelse, korridor eller liknande utrymme i egen brandcell kan dörrar utformas i lägst brandteknisk klass EI 30-SmC. (BFS 2011:26).

4.2 Trapphus, Tr2

Trapphus Tr2 ska alltid utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas, (BFS 2011:26). Enligt lagstiftningen ska de flesta rum och lokaler som ligger intill ett trapphus anslutas via ett utrymme i egen brandcell. Om Tr2-trapphuset har en anslutning med en kallare får trapphuset ej fungera som den enda utrymningsvägen. I markplan ska trapphuset mynna ut i det fria utan att passera något gemensamt utrymme.

Trapphusen som undersöks fungerar som en utrymningsväg och därför ställs det särskilda krav på dörrar som mynnar till trapphuset (BFS 2011:26).

Nedan presenteras ett utdrag från Boverkets byggregler, BBR:

5:246 Trapphus Tr2

Trapphus Tr2 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas. (BFS 2011:26). Allmänt råd

Avskiljande konstruktion bör utformas i lägst brandteknisk klass EI 60. Dörrar till trapphus Tr2 bör utformas i lägst klass EI 60-SmC. Om trapphuset betjänar en byggnad med högst åtta våningsplan, är EI 30-SmC tillräckligt.

Trapphuset bör endast ha förbindelse genom ett utrymme i egen brandcell med bostäder i verksamhetsklass 3, kontor i verksamhetsklass 1 och därmed jämförliga utrymmen där personer vistas mer än tillfälligt. Andra utrymmen än bostäder i verksamhetsklass 3, kontor i verksamhetsklass 1 och därmed jämförliga utrymmen där personer vistas mer än tillfälligt, bör endast stå i förbindelse med trapphuset genom en brandsluss. Sådana utrymmen bör ha tillgång till ytterligare minst en tillträdesväg för räddningsinsats. Hisschakt kan placeras i trapphuset som del av samma brandcell. Trapphus Tr2 som utgör den enda utrymningsvägen bör inte stå i förbindelse med källarplan i enlighet med kraven i 5:722. Detta gäller även för hisschakt som ingår i samma brandcell som trapphuset.

Vindsutrymmen, där personer endast vistas tillfälligt, i kan stå i direkt förbindelse med trapphus Tr2 genom dörrar i lägst klass EI 60-SmC. (BFS 2011:26).

5. Ventilationstekniskt brandskydd

Nedan presenteras ett antal metoder vilka används inom ett antal olika verksamheter för att skydda sig mot brandgasspridning via ventilationssystemen. De metoder som valts att beskrivas i följande kapitel är de som identifierats som möjliga lösningar på de driftfall som presenteras i kapitel 8. För förståelse hur de olika implementerade metoderna påverkar ventilationen anses det vara av stor vikt att införskaffa en grundläggande kunskap om de olika metoderna samt de krav som ställs på dem.

Ingen metod är fullständigt säker och det föreligger alltid en risk för brand- och brandgasspridning oberoende på vilka åtgärder som tas i bruk. (Gordonova, personlig kommunikation 2012-01-30)

5.1 Stoppade fläktar

Metoden att stoppa fläktarna vid händelse av brand är en metod från 1975. Stoppade fläktar kombineras ofta med öppnade förbigångar. Vid händelse av brand i en byggnad stoppas fläktarna och ventilationskanalsystemet öppnas uppåt med förbigångar. Metoden bygger på att brandgasernas termiska stigitkraft ska transportera ut dem ur byggnaden. Stoppade fläktar vid brand har ett dimensioneringskrav och det är att tryckfallet från en brandcells strömningsväg genom kanalsystemet till det fria ska vara fem gånger större för den enskilda delen än för den gemensamma. Det bör noteras att detta gäller det gemensamma flödet och andra siffror än fem kan användas, (Jensen, 2006).

I kombination med stoppade fläktar vid händelse av brand kan öppna förbigångar komplettera ventilationsskyddet. Förbigångars dimensioner kan ofta jämföras med dimensionerna för den största anslutande lokalen. För ett till- eller frånluftssystem sammansluts ofta förbigångarna till en takhuv. Takhuvorna kan vara en avluftshuv som ansluter vid avluftningen (Jensen, 2006).

5.2 Fläktar i drift

Vid händelse av brand fortsätter fläktarna att gå när metoden fläktar i drift appliceras. Syftet är att alla eventuella brandgaser ska vädras ut genom frånluften. Beroende på om det är ett frånluftssystem eller ett från- och tilluftssystem krävs olika åtgärder för att försvåra för brandgasspridning. Från- och tilluftssystem är inte lika robust som ett frånluftssystem vilket beror på att brandgaser sprids vid ett lägre brandtryck i ett från- och tilluftssystem. Det är av stor vikt att brandgaser ej sprids via tilluften vilket den gör först i ett från- och tilluftssystem. Sker detta finns det risk för brandgasspridning till andra brandceller. När metoden används är det viktigt att fläktar är driftsäkra minst lika lång tid som brandcellerna ska vara intakta (Boverket, 1994; Jensen, 2002).

I Boverkets byggregler, BBR, ställs följande krav på fläktar i drift:

5:2552 Fläktar i drift vid brand

Med fläktar i drift vid brand avses en skyddsmetod som innebär att fläktar i ventilationssystem används för att kontrollera brandgaser eller begränsa brand och brandgasspridning mellan brandceller. Om fläktar i drift vid brand är en förutsättning för brandskyddets utformning ska de dimensioneras så att de med hög tillförlitlighet uppfyller avsedd funktion. Systemet ska förses med ett skydd mot strömavbrott på grund av brand. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Kablar för elförsörjning bör utformas med ett skydd som motsvarar kravet på den avskiljande konstruktionen i byggnaden. (BFS 2011:26).

5.4. Krav på fläktar

Det är av stor vikt att fläktars driftsäkerhet vid brand säkerställs då fläktar i drift används.

De temperaturkrav som ställs på fläktar dimensioneras utifrån två fall, gäller för frånluftsfläktar:

1. I början av brandförloppet finns det risk för brandgaser med temperaturer runt 350 °C trycks in i systemet, då det råder högt tryck i brandrummet.

2. En bit in i brandförloppet, när det finns risk för övertändning i lokalen och temperaturer upp till 1000 °C riskerar komma in i lokalen, kommer brandgaser endast sugas in i systemet. Ingen fördjupning av huruvida fläktarnas driftsäkerhet påverkar resultatet i rapporten kommer tas. Det bör dock beaktas att det är en påverkande faktor. Jensen 1998a, studerar temperaturhålligheten hos fläktar.

Även fläktars strömförsörjning är av storvikt att säkerställa, det värderas dock ej vidare i denna rapport.

5.3 Reglering av fläktar

För att förhindra brandgasspridning kan fläktarnas kapacitet ändras. Det finns fläktar som genom att öka deras varvtal öka deras kapacitet. Det som begränsar metoden är att flödesbehovet samt tryck och tryckfall ökar med ökat flöde. Metoden medför även en risk i och med att höga tryck uppstår (Jensen, 1998a).

5.4 Separat ventilationssystem

Separat ventilationssystem för varje brandcell är den enda helt säkra åtgärden mot brandgasspridning via ventilationen. Detta kräver dock att varje system har ett eget aggregat (Brandskyddshandboken 2012).

5.5 Backspjäll

Ett backspjäll tillåter flöde i en riktning men inte i en annan. Spjällen är känsliga för värmepåverkan. Ytterligare nackdelar med backspjäll är att de är svåra att funktionstesta, de går ej att styra samt att de är känsliga för nedsmutsning (Jensen, 2002a).

5.6 Brandgasspjäll

Brandgasspjälls funktion är ofta att isolera brandrummet från resterande byggnad. I ett från- och tilluftssystem sitter ett spjäll i tilluften och ett i frånluften och vid händelse av brand stänger spjällen till det brandutsatta rummet. Spjällen är ej helt täta. Ett litet läckage kommer alltid finnas, dock hur

stort läckaget är beror på hur tät brandcellen är. I en otät brandcell blir inte läckaget lika stort, då brandtrycket ej blir lika högt och trycker ej ut lika mycket brandgaser i kanalsystemet (Jensen, 2007).

Nedan presenteras kraven på spjäll från boverkets byggregler, BBR:

5:2551 Spjäll

Om spjäll är en förutsättning för brandskyddets utformning ska de utformas så att de, med hög tillförlitlighet, skyddar mot brand- och brandgasspridning i ventilationssystemet motsvarande den avskiljande förmåga som gäller för brandcellsgränsen. Spjäll ska klara den temperatur som de utsätts för och spjällen ska aktiveras inom den tid som krävs för att avsedd funktion ska uppnås. Spjällen ska vid behov förses med ett skydd mot strömavbrott på grund av brand. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Spjäll kan verifieras enligt SS-EN 15650. Aktivering av spjäll bör ske med rökdetektor som placeras på ett för ändamålet lämpligt ställe. Rökdetektorns utformning kan verifieras enligt SS-EN 54-7. (BFS 2011:26).

5.7 Trycksättning

En metod för att förhindra brandgasspridning mellan rum är genom trycksättning. Ett rum som övertrycksätts skyddas på så vis mot brandgaser från brandrummet. Trapphus som används som utrymningsväg samt som ingreppsväg för släck- och räddningstjänstinsats är av stor vikt att de hålls rökfria, vilket innebär att de ofta övertrycksätts. Trycksättning genomförs ofta med fläktar som är till för att skapa ett övertryck, så kallade övertrycksfläktar. Lufttillförseln till trycksättningsfläktarna tas ofta från uteluften och kan vara i en punkt nära fläkten eller i ett antal punkter genom ett kanalsystem. Trycksättningsfläktar kan placeras på olika ställen i ett trapphus. Genom att placera fläkten i marknivå minskas risken för att brandgaser som kommit ut till omgivningen kommer in igen (Jensen, 2005; Jensen 2006a).

Det är viktigt att trycket uppehålls i ett trapphus, dock påverkar läckage, samt om en dörr öppnas, hur tät lokalen bakom dörren är. Det största tryckfallet fås därför om en dörr mot det fria öppnas, (Jensen, 2005).

När ett trapphus trycksätts kommer övertrycket begränsas med ett minimum neråt och ett maximum uppåt. Det begränsas med ett minimum neråt för att brandgasspridning in till trapphuset inte ska ske och ett maximum uppåt för att dörrar ska kunna öppnas med rimlig kraft. Den maximala kraft som ska behövas för att öppna en dörr är 130 N, vilket motsvarar en tryckskillnad på cirka 80 Pa över en dörr som är 2 m², (Jensen, 2008). Det rekommenderas dock en högsta tryckskillnad på 50 Pa (Backvik; Fagergren; Jensen, 2008). Det som begränsar den nedre tryckskillnaden är den termiska tryckskillnaden över dörrar som ibland finns. Tryckskillnaden i den nedre delen av trapphuset måste vara högre än den termiska tryckskillnaden för att försäkra att brandgasspridning inte sker. Rekommendationerna är att den minst tryckskillnaden nederst i ett trapphus ska vara 20 Pa vid dörrhöjder på 2 meter, (Jensen, 2008).

Temperaturen i ett trapphus påverkar tryckskillnader. Ett trapphus som är varmare än uteluften kommer få ett ökat övertryck då den termiska tryckskillnaden kommer bidra. Största bidraget fås på

vintern, en utomhus temperatur på $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ och en inomhus temperatur på $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ger ett tillskott på 2 Pa/m , (Jensen, 2005a).

Andra faktorer som även påverkar övertrycket är läckage och personbelastning i trapphuset. Ett stort läckage innebär en mindre tryckuppbyggnad då samma kapacitet på fläkten används som i ett trapphus med litet läckage. Det är av stor vikt att vid dimensioneringen av trycksättning att hänsyn tas till att dörrar kommer att öppnas, se avsnitt 7.2.

Personbelastningen kommer naturligt vara högre i nedre delen av trapphuset då trapphuset används som utrymningsväg. Studier visar på personbelastning bidrar till att tryckfallet ökar eftersom personer blir som ett motstånd mot genomströmningen i trapphuset, (Jensen, 2005a).

5.8 Tryckavlastning

Tryckavlastning är en metod för att avlasta ett utrymme; exempelvis brandrummet eller ett trapphus. Det rekommenderas ej att använda självverkandespjäll som är inställda i förhållande till omgivningen. Eftersom temperaturen ute och vindpåverkan kan skapa ett tryck, vilket leder till att spjällen löser ut vid fel tillfälle och risken för brandgasspridning ökar.

5.9 Konvertering till frånluftsystem

Konvertering från tilluft till frånluft innebär att flödet vänds och används för att skapa ett robustare ventilationssystem då tilluften är känsligare för tryck än ett frånluftssystem.

Vid konverteringen till frånluftssystem är det viktigt att försäkra att inte ett för stort undertryck uppkommer i övriga lokaler då dörrar kan bli svåra att öppna eller stänga. Detta kan regleras med hjälp av tryckstyrda fläktar. En nackdel med metoden är att brandgaser kommer ledas in i båda systemen vilket innebär att båda kanalsystemen måste rengöras efter en brand. Det bör även tilläggas att för att metoden ska vara möjlig att genomföra krävs det att byggnaden är utrustad med axialfläktar (Jensen, 2002).

5.10 Konvertering till tilluftssystem

Genom att konvertera ett frånluftssystem till tilluftssystem så finns det möjlighet att med hjälp av tryck, pressa ut branden och dess brandgaser. Vid konvertering till tilluftssystem finns det risk för att stora övertryck uppkommer i byggnaden vilket kan innebära att dörrar och fönster blir svåra att öppna. Tillskillnad till konvertering till frånluft är tryckreglerade fläktar inget bra alternativ eftersom övertryck är nödvändigt för att motarbeta brandgasspridning (Jensen, 2002a).

5.11 Brandgasventilation

Brandgasventilation används för att vädra ut brandgaser, vilket underlättar utrymning samt räddningsinsatser. När brandgaser vädras minskar även risken med brand- och brandgasspridning inom byggnaden eftersom tryck- och värmepåverkan begränsas (Svensson, 2006).

Brandgasventilation kan genomföras med hjälp av befintliga öppningar som dörrar och fönster. I många byggnader finns där även rökluckor i den övre delen av byggnaden som räddningstjänsten kan

öppna. Finns inga naturliga öppningar kan räddningstjänsten utföra håltagning i byggnaden. För att optimera brandgasventilationen används ofta fläktar för att vädra ut brandgaserna (Svensson, 2006).

Faktorer som påverkar huruvida brandgasventilationen fungerar eller ej är om branden är ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad (Svensson, 2006).

Nedan presenteras de krav som ställs på brandgasventilation av Boverkets byggregler, BBR:

5:253 Brandgasventilation

Om ett system för brandgasventilation är en förutsättning för att brandskyddet ska fungera ska systemet utformas så att det, med hög tillförlitlighet, kan kontrollera brandgaser under avsedd tid. Systemet ska ha tillräckligt snabb aktiveringstid och tillräcklig kapacitet för att säkerställa att brandskyddet blir tillfredsställande. Vid dimensionering av brandgasventilation ska hänsyn tas till snedbelastning och vindlast. Öppningar och andra anordningar ska utformas så att vägar för tilluft och frånluft säkerställs utifrån de förhållanden som kan uppstå vid en brand. Anläggningens funktion ska kunna upprätthållas då ström finns till byggnaden samt ha ett skydd mot strömavbrott på grund av brand. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Brandgasventilation kan tillämpas för att exempelvis begränsa ansamlingen av brandgaser, deras temperatur och att förbättra möjligheten till räddningsinsats. System för brandgasventilation kan verifieras enligt standardserien SS-EN 12101. (BFS 2011:26).

5:732 Brandgasventilation

I byggnader i klass Br1 ska trapphus förses med brandgasventilation eller motsvarande. Vidare ska brandgasventilation eller motsvarande finnas i varje brandcell på vind som används som förrådsutrymme i byggnader med fler än fyra våningsplan. Brandgasventilation eller motsvarande ska utformas så att invändig räddningsinsats underlättas. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Brandgasventilation kan vara röklucka eller mekanisk fläkt. Manöverdon för aktivering av röklucka, mekanisk fläkt eller motsvarande i trapphus bör placeras i bottenvåningen och bör utformas för att kunna aktiveras av räddningstjänsten. Om röklucka installeras i trapphus bör den

fria arean vara minst 1 m² i byggnader med högst åtta våningsplan. I trapphus kan en lösning som motsvarar brandgasventilation vara öppningsbara fönster på minst vartannat våningsplan. Fönster bör även finnas på det översta våningsplanet. Samtliga fönster bör gå att öppna med en brandkårsnyckel utformad enligt SS 3654. På vindar kan en lösning som motsvarar brandgasventilation även vara andra öppningar såsom fönster eller luckor som är lätt öppningsbara utifrån eller som är lätta att slå sönder. Öppningar på vind bör ha en area motsvarande minst 1 % av förrådsutrymmenas golvarea och vara jämnt fördelade. Brandgasventilation eller motsvarande bör utformas så att ansamlingar av brandgaser begränsas och tryckavlastning uppnås. (BFS 2011:26). Källare i en byggnad i klass Br1 ska förses med brandgasventilation eller motsvarande. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Källare kan en lösning som motsvarar brandgasventilation även vara andra öppningar såsom fönster eller andra öppningar mot det fria. De bör finnas i en sådan omfattning att trapphus inte behöver utnyttjas för ventilation av brandgaser. I byggnader med fler än ett källarplan bör brandgasventilation finnas separat för varje källarplan. Brandgasventilationen bör i dessa fall kunna manövreras från bottenvåningen och dess manöverdon bör förses med skyltning. Öppningar bör ha en area motsvarande minst 0,5 % av brandcellens nettoarea vid en brandbelastning som är högst 800 MJ/m². Förses randcellen med automatisk vattensprinkleranläggning kan 0,1 % anses vara tillräckligt. Det senare gäller även vid en högre brandbelastning än 800 MJ/m². Regler om utformning av skyltning finns hos Arbetsmiljöverket. (BFS 2011:26).

5.12 Termisk trycksättning

När luften utanför ett trapphus är kallare än luften inuti trapphuset uppstår termisk tryckökning uppåt i trapphuset vilket begränsar höjden på trapphuset som ska trycksättas. I rapporten Termisk trycksättning av trapphus av Jensen(2008) beskrivs en metod för att eliminera detta problem. Genom att ventileras ett trapphus nedifrån och uppåt med hjälp av en fläkt i botten, kan denna tryckökning motverkas. Flödet som skapas med fläkten skapar samtidigt ett tryckfall per höjdmeter som är i storlek med det den termiska tryckökningen per meter bidrar med. För att metoden ska fungera krävs att det finns någon form av tryckavlastning, antingen genom naturligt läckage eller en avlastningsarea i toppen på trapphuset.

6. Ventilation på befintliga kärnkraftverk

I följande kapitel beskrivs befintlig ventilation på ett antal kärnkraftverk. Detaljnivån är beroende av den information som kärnkraftverken själva har förmedlat, då de är enda källan till information. Kapitlet syftar till att undersöka möjliga och befintliga metoder som möjligen kan implementeras vid dimensionering av ventilation i höga trapphus.

6.1 Ringhals

På kärnkraftverket Ringhals är trapphusen utrustade med övertrycksfläktar. Vid händelse av brand stänger alla spjällen till trapphuset och övertrycksfläkten startar. Syftet är att skapa ett övertryck i trapphuset så brandgasspridning ej sker in i trapphuset. Övertrycksfläkten, som är en tilluftsfläkt, sitter längst upp i trapphusen och tar sin ersättningsluft från utomhusluften. (Kihlman, personlig kommunikation 2014-08-20)

Detektorerna som finns i lokalerna på Ringhals är uppdelade i brandlarmssektioner. Beroende på vart en brand detekteras på verket styrs ventilationen på olika vis. Ibland öppnas spjäll och i andra fall stängs dem. Det är brandrummets funktion samt innehåll som påverkar vad som sker vid detektion.

6.2 Oskarshamns kärnkraftverk, OKG

På OKG används samma princip för alla trapphus på hela verket. Trapphusen som ska användas som utrymningsväg vid händelse har alla dörrar som öppnas ut från trapphuset. En viktig säkerhetsfunktion för att försäkra personsäkerheten är dörrstängare som är inställda efter utrymningsövning. Eftersom dörrstängarna är inställda under utrymningsövningar upplevs de väldigt tröga att öppna i normalfallet. Syftet med att ställa in dörrstängarna är för att dörrar inte ska slå upp vid händelse av brand och skada människor som vill utrymma. (Johansson, personlig kommunikation, 2013-10-28)

Vid händelse av brand stänger alla brandspjäll i trapphusen och övertrycksventilationen startar. I trapphusen används axialfläktar som kan vara placerade både högt och lågt i trapphuset. Fläkten är dimensionerad att hålla ett övertryck i trapphuset mellan 40-80 Pa samt ha kapacitet att upprätthålla en riktad luftström ut från trapphuset när två dörrar är helt öppna. Varje trapphus är även utrustat med avlastningsspjäll i form av ett backspjäll som öppnar när trycket blir för högt samt stänger om trycket blir för lågt. I resterande del av byggnaden betar sig ventilationen olika beroende på byggår samt renoveringar. Delar som ej är moderniserade sedan 70-talet stänger all tilluft samt alla brandspjäll till brandrummet och rum som är påverkade av branden, samtidigt som frånluften fortsätter att gå. Brandrummet isoleras helt vid händelse av brand och frånluften fortsätter att gå för att transportera ut eventuella brandgaser. I de delar som är ombyggda eller nya stänger brandspjäll till brandrummet samt de rum och lokaler som blivit påverkade. De utsatta lokalerna isoleras helt, dock fortsätter både till- och frånluftsfläktar att vara i drift. Styrning av ventilation vid händelse av brand har endast insatsledaren möjlighet till. Det finns bland annat speciella brandgasfläktar som kan hjälpa att evakuera brandgaser samt kan insatsledaren styra speciella brandgasspjäll i brandutsatta rum. Möjligheten att exempelvis öppna speciella brandgasspjäll i brandutsatta rum ger möjlighet att evakuera brandgaser. (Johansson, personlig kommunikation, 2013-10-28)

6.3 Forsmark

På kärnkraftverket Forsmark delas verket in i olika zoner beroende på vilken aktivitet som finns. Beroende på var trapphusen är lokaliserade samt vilken zon de tillhör finns olika sätt att säkerställa utrymning och övrig säkerhet.

Ett typiskt trapphus i reaktorbyggnaden har brandspjäll och backspjäll mot ordinarie ventilationssystem. Vid trapphus mer än två våningar höga finns en fläkt för trycksättning av trappschaktet. Via brandlarmsystemet aktiveras denna fläkt samtidigt som ordinarie ventilationsvägar stängs med brandspjäll respektive backspjäll.

Trycksättningsfläkten är dimensionerad för cirka 20 luftomsättningar per timme och skall ge ett gasfritt skikt på 2-3 meter. Enligt Forsmark säkerställer detta systemet att trapphusen kan användas säkert vid nödutrymning.

För att säkerställa branddörrars funktion vid händelse av brand resonerar Forsmark på följande vis; ett grundläggande krav för verksamheten är att skapa differenstryck mellan olika lokaler beroende på klassning. De av ventilationen skapade differenstrycken kan vintertid förstärkas med den så kallade skorstenseffekten. Vid revisionsarbeten körs ibland fläktar olika jämfört med hur de kör under ordinarie drift.

Ett problem verket arbetar med idag är differentialtrycket mellan olika avdelningar. Idag kan ett maximalt differentialtryck på 200 Pa uppkomma vilket gör det svårt att öppna samt stänga branddörrar. De dörrstängare som finns tillgängliga idag är inte tillräckligt starka. Olika alternativ till dörrar studeras för tillfället, bland annat dörrsystem som används på fartyg, se avsnitt 6.5 som behandlar sådana system som återfinns på EDF Energys kärnkraftverk i England. (Abbott, personlig kommunikation 2014-10-14)

Vid normala differentialtryck anses vanliga branddörrar fungera bra att öppna, dock behövs det tas i lite mer än normalt för att stänga samt öppna dem.

6.4 Finland

TVO är ett finskt energiföretag som driver ett antal kärnkraftverk i Finland. På TVOs verk finns det i varje trapphus en övertrycksfläkt som är kopplat till ett brandlarm. Vid händelse av brand startar fläktarna och skapar ett övertryck större än 150 Pa. Ventilation för resterande byggnad fortsätter att gå som normalt vid händelse av brand. Verket använder sig av axialfläktar som är placerade i mitten av trapphuset. (Niemi, personlig kommunikation 2014-04-09)

6.5 England

Nedan presenteras metoderna som det Engelska företaget bland annat EDF Energy, som har ett antal kärnkraftverk utspridda i Storbritannien, använder sig av.

I England upplevs problem med att öppna och stänga dörrar vid händelse av brand på grund av tryckuppbyggnad, liknande de problem som återfinns vid Ringhals. EDF Energy har dock börjat titta på alternativa metoder, som exempelvis skjutdörrar.

Skjuddörrar återfinns oftast på fartyg. De skjuddörrar som är brandklassade är ofta utformade för specifikt fartyg, dock finns även denna sort av dörr på vissa oljeplattformar som har problem med extrema väderförhållanden. I England finns idag på vissa kärnkraftverk skjuddörrar. Dock installerades de inte för att komma åt problemet med för höga tryck utan för att spara plats. Det har dock visat sig att dörrarna fungerar att öppna även vid de höga tryck som kan uppkomma av vindpåverkan samt internt uppbyggt tryck. (Abbott, personlig kommunikation 2014-10-14)

För att komma åt problemet med svåröppnade och -stängda dörrar på grund av tryck har fläktar samt dörrstängare justerats. Detta har dock inte alltid räckt. På ett av kärnkraftverken i England har skjuddörrarna bytts ut mot certifierade branddörrar med skjutfunktion. (Abbott, personlig kommunikation 2014-10-14)

6.6 Sammanfattning

Problem med höga tryck vid händelse av brand borde teoretiskt sett samtliga byggnader med höga trapphus erfaras. Det framkommer inte lika tydligt huruvida fenomenet är ett problem eller ej på de olika kärnkraftverken. England lyfter fram att detta är ett problem och belyser även att branschen är i behov av ett nytt perspektiv på branddörrar som även är anpassade för problemet med höga tryck. England är det land som även har börjat se över möjliga lösningar på problemet där skjuddörrar liknande de som finns på fartyg är en möjlig lösning.

7. Problemformulering

Ett av problemen som identifierades från litteraturstudien i kapitel 5 är att när höga trapphus trycksätts blir det olika tryck på olika nivåer i trapphuset. Faktorer som påverkar trycket är temperatur, personbelastning, läckage samt typ av fläkt som används.

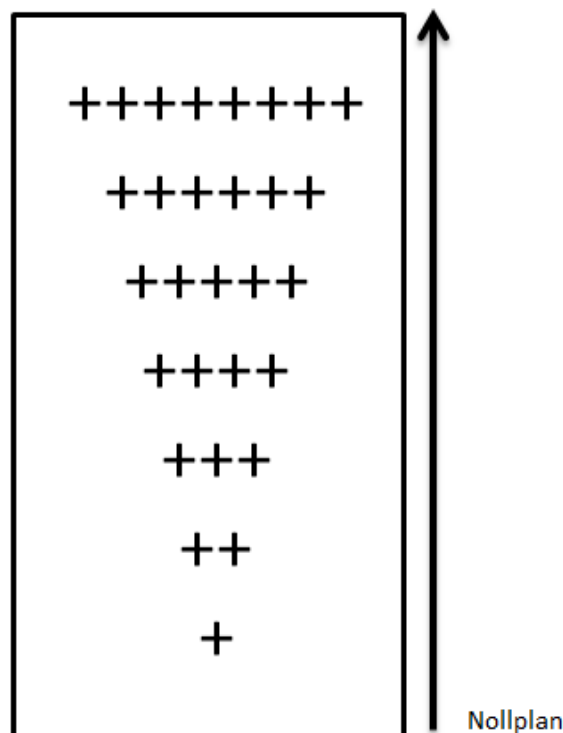
Trapphusets primära syfte är att fungera som utrymningsväg vilket innebär att personer kommer vara tvungna att öppna dörrar för att komma in och ut ur trapphuset vilket i sin tur kommer innebära ett stort läckage av luft. Vid dimensioneringen av hur mycket trapphuset ska trycksättas är det av stor vikt att ta hänsyn till hur mycket läckage som kan komma att uppstå.

Svårigheten med att trycksätta trapphus är att övertrycket måste vara stort nog för att försvåra brandgasspridning in till trapphuset och bibehålla brandcellsindelningen, medan det samtidigt måste vara möjligt att öppna och stänga dörrar för att möjliggöra utrymning. Det blir därför en avvägning mellan att tillföra tillräckligt med övertryck, men inte för mycket. Enligt branschstandarden bör trycket minst vara 20 Pa i den lägre delen av trapphuset för att förhindra brand- och brandgasspridning (Jensen, 2008). I den övre delen av trapphuset, dimensioneras trycket efter möjligheten att öppna dörrarna och det rekommenderas att trycket maximalt ska uppgå till 80 Pa, för att dörrar ska kunna öppnas med rimlig kraft (Jensen, 2008). På grund av begränsningen av övertrycket kan tryckskillnaden mellan toppen och botten maximalt vara 60 Pa. Problemet är att det inte går att dimensionera fläkten efter endast dessa värden, utan det är ett måste att beakta andra faktorer som även påverkar trycket.

Den tryckdifferens som uppstår i ett trapphus beror bland annat på temperaturen inne jämfört med temperaturen ute. Detta leder till att årstider har en stor inverkan på hur trycket inne i trapphuset är. Under vinterhalvåret uppstår de största tryckstegringarna om trapphusen är uppvärmda. En temperatur skillnad på 43 grader, -23 grader ute samt 20 grader inne, innebär en tryckstegring på 2 Pa/m. Då en maximal tryckdifferens på 60 Pa endast får förekomma, som beskrivs ovan, innebär detta att på grund av den termiska tryckökningen begränsas trapphushöjden till 30 meter. Genom att ventilerat trapphuset med en luftström som går nedifrån och upp i trapphuset kan den termiska tryckökningen elimineras. Metoden beskrivs mer ingående i avsnitt 5.12. Att eliminera den termiska tryckökningen är inte lösningen på hela problematiken gällande trycksatta trapphus, utan det ger endast en möjlighet att eliminera den termiska tryckökningen vilket leder till att högre trapphus utan sektionering kan användas.

Läckaget inne i trapphuset har även stor påverkan eftersom det vid trycksättning tillförs stora mängder luft. Desto mer luft som stannar kvar i trapphuset desto högre tryck byggs upp. Luften tillförs med hjälp av en fläkt som kan vara placerad var som helst i trapphuset. Fläkten kan ta sin luft utifrån eller inifrån beroende på dess syfte, se avsnitt 5 för exempel på fläktars uppgift.

När dimensionering av trycksättning av trapphus utförs är det av stor vikt att ta hänsyn till huruvida det kommer förekomma en stor personbelastning eller ej. Personbelastningen har en inverkan på tryckupbyggnaden på sådant vis att en hög personbelastning försvårar genomströmningen då personerna blir som ett motstånd för luftflödet, vilket ökar tryckfallet i trapphuset, vilket i sin tur innebär att trapphushöjden begränsas (Jensen, 2005a).



Figur 2 Tryckförhållande i trapphus vid övertrycksättning

Figur 2 visar hur det relativa trycket är högre i de övre delarna av trapphuset jämfört med de nedre delarna, där ”+” innebär ett förhöjt relativt tryck (fler ”+” innebär högre relativt tryck). Nollplan motsvarar marknivå.

Tre olika driftfall är identifierade och kommer undersökas med ett antal underscenarior. Först undersöks driftfallen i en riskanalys för att på så vis selektera vilka åtgärder för de olika driftfallen som bör undersökas vidare. Därefter genomförs en vidare analys på varje driftfall där de olika åtgärderna som identifierats i riskanalysen.

Samtliga driftfall grundar sig i en byggnad som använder sig av ett till- och frånluftssystem vid normaldrift. Valet av system grundas på de ventilationssystem som Ringhals använder sig av. Vid händelse av brand undersöks ett antal ventilationstekniska metoder för de tre driftfallen för att undersöka möjliga lösningar. För samtliga fall startar en övertrycksfläkt i trapphuset vid händelse av brand som tar sin ersättningsluft utifrån och är placerad längst upp i trapphuset. Andra alternativ av fläktplacering övervägdes men avvisades då det visade sig att en majoritet av trapphus installerar fläkten längst upp i trapphuset då det visat sig ge bäst resultat (Johansson, personlig kommunikation, 2013-10-28). Den brandcell som är brandutsatt stänger brandgassjällen både för till- och frånluften, därför kommer styrning av spjäll i byggnaden att undersökas.

I kapitel 9-11, presenteras problemen med hjälp av datorprogrammet PFS samt med teoretiska resonemang. Eventuella implementeringar av olika metoder kommer även undersökas, vilka grundar sig på de ventilationstekniska lösningar som presenterades i avsnitt 5 samt från slutsatser från riskanalysen. Vissa av metoderna kommer att vara liknande för alla driftfallen, det har dock ansetts viktigt att beskriva metoderna på samtliga driftfall om det anses att metoden är av väsentlighet.

Ventilationens utformning på Ringhals, se avsnitt 6.1, är olika beroende på var det påträffas och vilket innehåll rummet där detektorerna som detekterar branden sitter, vilket innebär att tre olika driftfall kommer undersökas.

Tabell 1, listar de förutsättningar för de tre driftfallen vid händelse av brand, innan några åtgärder undersökts. Problemen i tabell 1 är de tre driftfallen som inledningsvis kommer undersökas i riskanalysen. För varje driftfall beskrivs problemet som uppstår vid händelse av brand. Ett antal metoder undersöks sedan för varje driftfall, vilka är utvalda utifrån litteraturstudien i kapitel 3-5, befintliga system presenterade i kapitel 6, samt tal med experter samt från riskanalysen i kapitel 8. Varje kapitel avslutas med en sammanfattning av driftfallet och de metoder som undersökts. I avsnitt 8.4 presenteras en sammanfattning för samtliga driftfall där en jämförelse av de olika metoderna även genomförs.

Tabell 1 Driftfallens förutsättningar vid händelse av brand.

Driftfall	Övertrycksfläkt I trapphus	Frånluftsfläkt	Tillluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet
1	I drift	I drift	Avstängd	Stängda
2	I drift	I drift	I drift	Stängda
3	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda

I PFS kommer ett trapphus med tre anslutande våningar beskrivas. Branden är placerad på våning två och ansluts till trapphuset där det står en 2:a. På grund av begränsningar i arbetets omfattning så undersöktes endast en placering av branden. Detta val föll på plan 2 då den relativa tryckskillnaden vid normal drift var som lägst på detta plan, och det ansågs troligt att detta även gällde för brandfallet. Våning ett och tre är anslutna till 1 och 3 i trapphuset. I trapphuset finns en övertrycksfläkt och på våning ett är en frånlufts- och tilluftsfläkt ansluten. För varje simulering kommer en bild på PFS-systemet presenteras, där simuleringen sker i trix 3. Trix 3 är en inställning vilket innebär att systemet är i brandläge. Den tryckskillnaden som uppstår mellan trapphuset och de anslutande våningarna i trix 3 kommer studeras här och mer information angående PFS se avsnitt 2.3 och bilaga A

En tryckdifferens som är större än 80 Pa mellan trapphuset och anslutande utrymmen innebär en risk för utrymnings säkerheten då det ej är säkert att alla orkar öppna dörrarna. Figur 4 visar systemet i PFS där tryckskillnaden mellan trapphuset och våningsplanen är av intresse. Tryckskillnaden kan läsas av vid läckaget vilket presenteras i figur 3. Figur 3 är endast ett utklipp från det ursprungliga systemet i figur 4. Det första trycket som redovisas i figur 3 är skillnaden mellan trapphuset och våningsplanet och det andra trycket är trycket på våningen. En negativ tryckskillnad vid läckaget innebär att det är ett övertryck i trapphuset. I tabell 2 redovisas tryckskillnaden i trapphuset i förhållande till våningsplanen. Där ett positivt tryck representerar ett övertryck. Innan några åtgärder är vidtagna finns det en risk för ett övertryck på över 340 Pa i trapphuset, vilket är oacceptabelt ur ett personsäkerhetsperspektiv. Personer kommer ha stora svårigheter att öppna dörrar vid ett så stort övertryck.

I driftfallen kommer liknande upplägg presenteras med en tabell som sammanfattar de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och våningsplanen.

Tabell 2 Sammanfattning tryckskillnader i PFS

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
193 Pa	20,3 Pa	340,3 Pa

" läckage våning 1 "

1	leak : h	: tq	1 0 1
- 193 . 0 Pa		16 . 8 Pa	
		98 . 241 l / s	

" läckage våning 2 "

2	leak : h	: tq	2 0 1
- 20 . 3 Pa		269 . 6 Pa	
		31 . 868 l / s	

" läckage våning 3 "

3	leak : h	: tq	3 0 1
- 340 . 3 Pa		29 . 7 Pa	
		130 . 44 l / s	

Figur 3 Tryckskillnader i PFS

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsaaa=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50.50 fleakb=t,50.10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1.324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"BGS=Brandgasspjäll"
"KIBS=BAckspjäll"

```



Figur 4 Fullständigt PFS-system

8. Riskanalys – identifiering av åtgärder

En riskanalys är en bedömning som påverkas av ingående sannolikheter. Analysen används för att identifiera möjliga metoder och problem med styrning av ventilationen i samband med trycksättning av höga trapphus. Riskanalysen kommer även ligga till grund för att identifiera framtida forskningsområden.

En *what if-analys* genomförs på samtliga driftfall som presenteras i kapitel 7. I analysen kommer det refereras till driftfallen vilka undersöks vidare i kapitel 9-11 (Karlsson, 2012).

What if-analysen används för att identifiera riskkällor som kan uppkomma vid händelse av en brand med ventilation som utgångspunkt, genom systematiskt ifrågasättande av olika tekniska funktioner med hjälp av frågor som börjar med ”vad händer om” (Karlsson, 2012). Analysens arbetsgång ser ut som följande:

1. Ställ frågan: Vad händer om?
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).
3. Identifiera konsekvensen.
4. Föreslå åtgärd.
5. Ställ ny fråga.

8.1 Driftfall 1.

Det första driftfallet som kommer undersökas är att vid händelse av brand stänger tilluftsfläkten samtidigt som frånluftsfläkten fortfarande är i drift. I brandrummet stänger brandgasspjällen både till- och frånluften. Nedan i tabell 3 presenteras förutsättningarna för driftfall 1, både vid normaldrift och vid händelse av brand, utan att några åtgärder är vidtagna.

Tabell 3 Presentation av driftfall 1

Driftfall 1	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	Avstängd	Stängda

1. *Vad händer om systemet utformas som i tabell 3?*

Ur brand- och brandgasspridningsperspektiv anses metoden vara bra, då frånluften är mer robust än tilluften. Det kan dock antas att en större tryckskillnad mellan våningarna och trapphuset uppkommer då endast luft förs bort och inte tillförs.

- Det anses vara hög sannolikhet att ett oacceptabelt stort övertryck uppstår i trapphuset.
- Konsekvenserna med metoden är att det finns risk för att personer ej kan utrymma.
- När frånluften är i drift är systemet robust ur ett brand- och brandgasspridning perspektiv men det finns risk för att betydande undertryck i rum som ej har brandgasspjäll som stängt eller brandutsatta rum, relativt till trapphuset som är övertrycksatt. Genom att ha tilluftsfläkten i drift och samtidigt stänga frånluftsfläkten skulle mindre obalans mellan trapphuset och våningsplanen uppstå vilket reducerar/minskar dörröppningsproblematiken.
- Vad händer om tilluften är i drift medan frånluftsfläkten stängs vid händelse av brand?

Nedan i tabell 4 redovisas sammanfattningen från steg 1, i riskanalysen.

Tabell 4 Sammanfattning steg 1 i riskanalysen

1. Vad händer om systemet utformas som i tabell 3?	Oacceptabelt stora tryckskillnader
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög sannolikhet
3. Identifiera konsekvensen.	Personskada
4. Föreslå åtgärd.	Tilluftsfläkten i drift och frånluftsfläkten avstängd
5. Ställ ny fråga	Vad händer om tilluften är i drift medan frånluftsfläkten stängs vid händelse av brand?

Förutsättningar för analysen till frågan: **Vad händer om endast tilluftsfläkten är i drift vid händelse av brand samtidigt som trycksättning av trapphuset sker?** Tilluftsfläkten är i drift vid händelse av brand medan frånluftsfläkten stängs av och brandgasspjällen till brandrummets stänger samtidigt som övertrycksfläkten i trapphuset startar. Se tabell 2 för nya förutsättningar.

Tabell 5 Förutsättningar steg 2

Driftfall 1	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	Avstängd	I drift	Stängda

1. Vad händer om endast tilluftsfläkten är i drift vid händelse av brand samtidigt som trycksättning av trapphuset sker? Risk för att brand- och brandgasspridning, ökar jämfört med steg 1, eftersom ett högre brandtryck krävs för spridning via frånluften jämfört med att spridning sker via tilluften.
2. Sannolikheten för brand- och brandgasspridning via ventilationen anses stor då ett tilluftssystem ej är lika robust som ett frånluftssystem ur spridningssynpunkt.
3. Det finns stor risk för egendom - och personsador, beroende på hur snabbt brand- och brandgasspridning sker.
4. Om systemet återigen utformas som i tabell 3 samtidigt som brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar, skapas mindre tryckskillnader än om spjällen skulle varit öppna. Det föreligger fortfarande risk för brand- och brandgasspridning dock ej lika stor.
5. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 3 men att brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar?

I tabell 6 redovisas sammanfattningen för steg 2, i riskanalysen.

Tabell 6 Sammanfattning steg 2 i riskanalysen

1. Vad händer om endast tilluftsfläkten är i drift vid händelse av brand samtidigt som trycksättning av trapphuset sker?	Större risk för brand- och brandgasspridning jämfört med steg 1.
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög sannolikhet
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och Personskada
4. Föreslå åtgärd.	Stänga samtliga brandgasspjäll för frånluften
5. Ställ ny fråga	Vad händer om systemet är utformat som i 3 men att brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar?

Förutsättningar för analysen är att vid händelse av brand är att tilluftsfläkten stänger och frånluftsfläkten är i fortsatt drift. Brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar samt brandgasspjället i brandrummet för tilluften. Se tabell 3 för förutsättningarna för steg 3 i riskanalysen.

Tabell 7 Förutsättningar steg 3

Driftfall 1	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll för frånluften.	Brandgasspjäll för tilluften
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	Avstängd	Stängda	Öppna

1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 3 men att brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar? Tryckskillnaden mellan trapphuset och angränsande utrymmen minskar, eftersom luft endast tillförs i ej brandutsatta rum när frånluften spjälas av. Det kvarstår dock risk för fortsatta stor tryckskillnader då brandgasspjäll ej är fullständigt täta.
2. Det anses vara hög sannolikhet att oacceptabelt stor tryckskillnad kommer uppstå mellan trapphuset och de angränsande utrymmena.
3. Det föreligger risk för personskador om personer i byggnaden ej kan nyttja trapphusen som utrymningsväg.
4. Undersök metoden med att stänga frånluftsspjällen i kombination med tryckavlastning mellan trapphuset och våningarna. Genom att installera backspjäll mellan trapphusen och våningarna kan en tryckutjämning fås. Metoden med alternativa dörrar bör även undersökas.

Nedan i tabell 8 redovisas sammanfattningen av steg 3 i riskanalysen.

Tabell 8 Sammanställning steg 3 i riskanalysen

1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 7?	Minskad tryckskillnad mellan trapphus och angränsande utrymmen
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög sannolikhet
3. Identifiera konsekvensen.	Personskada
4. Föreslå åtgärd.	Stänga frånluftsspjällen i kombination med tryckavlastning mellan trapphus och våningsplan.
5. Ställ ny fråga	Vad händer om det installeras backspjäll i trapphuset som syfte att tryckutjämna?

Förutsättningarna för steg 4 i riskanalysen redovisas i tabell 9. Tilluftsfläkten stängs av vid händelse av brand, samtliga brandgasspjäll i frånluften stänger samt brandgasspjället i brandrummet för tilluften. Det kommer även ha installerats backspjäll mellan trapphuset och våningsplanen, med flödesriktningen ut från trapphuset.

Tabell 9 Förutsättningar steg 4 i riskanalysen

Driftfall 1	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsläkt	Brandgasspjäll för frånluften.	Brandgasspjäll för tilluften	Brandgasspjäll i brandrummet till- och frånluften.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna	Öppna	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	Avstängd	Stängda	Öppna	Stängda

1. Vad händer om det installeras backspjäll i trapphuset som syfte att tryckutjämna? Möjlighet att minska tryckskillnaden mellan trapphuset och angränsande utrymmen. Metoden måste dock utredas vidare för att avgöra om det föreligger risk för personskador eller ej. Då denna metod ej är beprövad innan, bör en kompletterande analys genomföras innan slutsatser dras, exempelvis genom PFS-simuleringar.

Nedan i tabell 10 redovisa sammanfattningen av steg 4 i riskanalysen.

Tabell 10 Sammanställning steg 4 i riskanalysen

<p>1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 9 men att brandgasspjällen för frånluften stänger på samtliga våningar?</p>	<p>Minskad tryckskillnad mellan trapphus och angränsande utrymmen. Digniteten är svår att bedöma utan kompletterande analys, exempelvis genom PFS</p>
--	---

8.1.1 Analys driftfall 1

Metoden med att endast ha tilluften i drift vid händelse av brand, innebär stor risk för att samtliga lokaler anslutna till ventilationssystemet kommer bli brand- och brandgasskadade. Om tryckskillnaden ej är för stor mellan våningarna och trapphuset finns det stor sannolikhet att personskador begränsas. Visar det sig att tryckskillnaderna fortfarande är för stora är risken för personskador mycket stor. Det bör dock tilläggas att råder det ett undertryck i trapphuset i förhållande till våningarna, kommer dörrarna vara lätta att öppna men svår att stänga. Problemet med att inte kunna stänga dörrar är då att brandcellsgränser ej är intakta och det finns stor risk för brand- och brandgasspridning. Metoden att konvertera frånluften till tilluft anses ej vara en metod att rekommendera då riskerna med brand- och brandgasspridning blir stor i jämförelse med att konvertera tilluft till frånluft. Konvertera tilluften till frånluft kommer undersökas vidare i avsnitt 9.1.

Metoden med att brandgasspjäll på all frånluft på samtliga våningar, samtidigt som endast frånluftsfläkten är i drift minskar troligen de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och våningsplanen jämfört med att frånluften ej haft brandgasspjäll som stängt. På grund av att brandgasspjäll ej är helt täta och ingen åtgärd för tryckutjämning mellan trapphus och våningsplan har genomförts kvarstår troligen problemet med för stor tryckskillnader. Metoden bör dock vara en framgångsfaktor i kombination med någon form av tryckutjämning. Slutsatsen kommer undersökas djupare i avsnitt 9.4.

Användandet av PFS vid utvärdering av ett ventilationssystem används idag av konsulter för att komplettera teorier, tester samt andra beräkningar som exempelvis FDS och handberäkningar. I kapitel 9 kommer förslagen på metoder undersökas djupare med bland annat PFS.

8.2 Driftfall 2

Det andra driftfallet innebär att vid händelse av brand fortsätter både från- och tilluftsfläktarna att vara i drift, brandgasspjällen stänger till brandrummet och en övertrycksfläkt startar i trapphuset.

Förutsättningar för analysen presenteras i tabell 11.

Tabell 11 Förutsättningar steg 1, driftfall 2

Driftfall 3	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	I drift	Stängda

Nedan genomförs en *what if*-analys.

1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 11?
Problemet med för stora tryckskillnader mellan trapphus och anslutande utrymmen uppkommer troligen.
2. Sannolikheten att det blir för stora tryckskillnader mellan trapphuset och anslutande utrymmen anses vara stor.
3. Konsekvenserna om ingen tryckutjämning sker mellan trapphuset och anslutande utrymmen är att det föreligger stor risk för att personer ej kan utrymma innan kritiska förhållanden uppkommer.
4. För att minska risken för att personer inte ska kunna utrymma krävs exempelvis någon form av tryckutjämning mellan våningarna och trapphuset. Möjliga metoder kan möjligen vara installation av backspjäll mellan trapphuset och anslutande våningar eller utbyte och reglering av dörrar.
5. Vad händer vid händelse av brand om från- och tilluftsfläktarna är i drift samt att backspjäll installeras mellan trapphuset och våningsplanen?

Tabell 12 redovisar sammanfattning av steg 1 i riskanalysen för driftfall 2.

Tabell 12 Sammanställning steg 1 för driftfall 2

1. Vad händer om systemet utformas som i tabell 11?	Oacceptabelt stora tryckskillnader samt stor risk för brand- och brandgasspridning.
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög sannolikhet Hög risk för brandgasspridning och för stora tryckskillnader
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och personskada
4. Föreslå åtgärd.	Tryckutjämning mellan trapphus och våningsplan.
5. Ställ ny fråga	Vad händer vid händelse av brand om från- och tilluftsfläktarna är i drift samt att backspjäll installeras mellan trapphuset och våningsplanen?

Förutsättningar för analysen är att vid händelse av brand är samtliga fläktar i drift, brandgasspjäll på brandrummet samt sker tryckavlastning i trapphuset i form av backspjäll mellan trapphuset och anslutande våningsplan med flöde ut från trapphuset.

Tabell 13 Förutsättning steg 2 för driftfall 2

Driftfall 2	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	I drift	Stängda

1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 13 samt att backspjäll är installerat i trapphuset med en flödesriktning ut från trapphuset? Metoden kan troligen innebära att acceptabla tryckskillnader uppkommer samtidigt som systemet är relativt robust ur ett brand- och brandgasspridningsperspektiv.
2. Det anses vara sannolikt att personer kommer kunna utrymma, då dörrar kommer kunna öppnas med rimlig kraft.
3. Konsekvenserna är att det finns risk för att kritiska förhållanden uppkommer i trapphuset vilket ej anses acceptabelt ur ett personskydds perspektiv. Stora egendomsskador kan uppkomma om det sker brand- och brandgasspridning i byggnaden, vilket det föreligger risk för att det sker i hela byggnaden.
4. Annan ventilationsteknisk metod som innebär en högre robusthet för personsäkerheten genom att minska risken för spridning av brand- och brandgaser.
5. Vad händer om det installeras brandgasspjäll på all frånluft av på samtliga våningar?

Tabell 14 Sammanställning steg 2 för driftfall 2

1. Vad händer vid händelse av brand om från- och tilluftsfläktarna är i drift samt att backspjäll installeras mellan trapphuset och våningsplanen?	Acceptabla tryckskillnader. Dock kvarstår det en risk för brand- brandgasspridning
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Låg sannolikhet t Låg risk för stora tryckskillnader. Mellan risk för brandgasspridning
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och personskada
4. Föreslå åtgärd.	Ett robustare system ur brand- och brandgasspridningsperspektiv.
5. Ställ ny fråga	Vad händer om det installeras brandgasspjäll på all frånluft av på samtliga våningar?

Förutsättningar för analysen är att vid händelse av brand stängs brandgasspjällen till brandrummet samt brandgasspjäll på frånluften av på samtliga våningar, samtidigt som trapphuset övertrycksätts, inga backspjäll finns installerade i trapphuset.

Tabell 15 Sammanställning steg 3 för driftfall 2

Driftfall 2	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.	Spjäll frånluften
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	I drift	Stängda	Stängda

1. Vad händer om systemet är utformat som i tabell 11 men att brandgasspjällen på all frånluften stänger på samtliga våningar? Tryckskillnader mellan våningarna och trapphuset bör minska, dock är det beroende på hur starka samtliga fläktar är, eftersom tilluftsfläkten även bidrar med ett övertryck. Om övertrycksfläkten är mycket starkare än till- och frånluftsfläkten kommer fortfarande för stora tryckskillnader uppkomma.
2. Sannolikheten att trapphuset ej fungerar som en utrymningsväg på grund av att dörrar ej går att öppnas, anses låg.
3. Stora personskador kan uppkomma om personer ej kan nyttja trapphuset som en utrymningsväg.
4. Ventilationstekniska metoder som minskar risken för brand- och brandgasspridning samt bidrar till att lättare kunna öppna dörrarna till trapphuset.
5. Vad händer om det installeras brandgasspjäll på all frånluft och att backspjäll installeras i trapphuset

Tabell 16 sammanfattar steg 3 för riskanalysen för driftfall 2.

Tabell 16 Sammanställning steg 3 för driftfall 2

1. Vad händer om systemet utformas som i tabell 15?	Oacceptabelt stora tryckskillnader.
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög risk för stora tryckskillnader. Mellan risk för brandgasspridning
3. Identifiera konsekvensen.	Personskada
4. Föreslå åtgärd.	Ventilationsteknisk lösning som minimerar tryckuppbyggnaden.
5. Ställ ny fråga	Vad händer om det installeras brandgasspjäll på all frånluft och att backspjäll installeras i trapphuset ?

Förutsättningar för analysen: vid händelse av brand är samtliga fläktar i drift, brandgasspjällen till brandrummet stängs och samtlig frånluft. Det sker en tryckavlastning i trapphuset i form av backspjäll, installerat mellan trapphuset och anslutande våningar med flöde ut från trapphuset.

Tabell 17 Förutsättningar steg 4 för driftfall 2

Driftfall 2	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Spjäll i brandrummet.	Spjäll frånluften våning 1	Spjäll frånluften våning 2 och 3
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna	Öppna	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	I drift	Stängda	Stängda	Stängda

- 1 *Vad händer om systemet är utformat som i tabell 17 samt att backspjäll är installerat i trapphuset med en flödesriktning ut från trapphuset? Metoden kan troligen innebära att acceptabla tryckskillnader uppkommer samtidigt som systemet är relativt robust ur ett brand- och brandgasspridningsperspektiv.*
- 2 Det anses vara sannolikt att personer kommer kunna utrymma.
- 3 Stora egendomsskador kan uppkomma om det sker brand- och brandgasspridning i byggnaden och kan utrymmande ej öppna dörrarna innebär det även stora personskador.

Nedan i tabell 18 sammanfattas steg 3 för driftfall 2 i riskanalysen.

Tabell 18 Sammanställning steg 4 för driftfall 2

1. Vad händer om systemet utformas som i tabell 17 men med backspjäll installerat i trapphuset?	Goda förutsättningar för att personer ska kunna utrymma
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Sannolikt att brand- och brandgasspridning sker Låg risk för oacceptabelt stora tryckskillnader Stor risk för brand- och brandgasspridning
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och personskada

8.2.1 Analys- driftfall 2

Metoden med att installera backspjäll i trapphuset samtidigt som både till- och frånluftsfläkten är i drift samt att brandgasspjällen till brandrummet stängs anses vara robust ur både ett person- och egendomsskyddsperspektiv. Det ska även undersökas vidare med hjälp av PFS, hur effektivt det är att brandgasspjäll på samtlig frånluft.

8.3 Driftfall 3.

Driftfall 3 innebär att vid händelse av brand stänger både från- och tilluftsfläktarna, brandgasspjällen stänger till brandrummet och en övertrycksfläkt startar i trapphuset. Förutsättningarna för analysen presenteras i tabell 19.

Tabell 19 Förutsättningar steg 1 för driftfall 3

Driftfall 3	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda

Nedan genomförs en *what if*-analys.

1. *Vad händer om systemet utformas som i tabell 19?* Problem med brand- och brandgasspridning samt risk för obalans i tryckförhållandet i byggnaden. Då fläktarna ej är i drift finns det inget mottryck eller naturlig transport av brandgaser. När övertrycksfläkten

startar och det inte finns något mottryck av resterande fläktar innebär detta att en större tryckskillnad skapas.

2. Det anses sannolikt att brand- och brandgasspridning sker då ventilationssystemet ej kan antas vara motståndskraftigt mot den tryckökning som branden kommer bidra med i brandrummet. Inga åtgärder mot den obalans i tryckförhållande som uppstår mellan trapphuset och anslutande våningar har genomförts vilket innebär stor sannolikheten för att dörrar mot trapphuset kommer vara svåröppnade.
3. Konsekvenserna med styrningen av ventilationen som presenteras i tabell 19 är att personer kommer ha svårt att utrymma samtidigt som brand- och brandgasspridning riskerar att ske. Metoden utan kompletterande åtgärder innebär en risk för stora person- och egendomsskador.
4. Det föreslås exempelvis ordna någon slags tryckutjämning mellan trapphuset och våningarna, installation av skjutdörrar eller vända på slagriktningen på dörrarna i kombination med inställning av dörrstängare. Följande förslagna åtgärder syftar till att personer lättare ska kunna öppna dörrar dock är åtgärderna inte en lösning på brand- och brandgasspridnings problematiken.
5. Vad händer om från- och tilluftsfläktarna stängs vid händelse av brand och backspjäll installeras?

Tabell 20 Sammanställning steg 1 för driftfall 3

1. Vad händer om systemet utformas som i tabell 19?	Oacceptabelt stora tryckskillnader samt stor risk för brand- och brandgasspridning.
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Hög sannolikhet Stor risk för både för stora tryckskillnader och att brandgasspridning sker
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och personskada
4. Föreslå åtgärd.	Tryckutjämning mellan trapphus och våningsplan.
5. Ställ ny fråga	Vad händer om från- och tilluftsfläktarna stängs vid händelse av brand och backspjäll installeras?

Förutsättningar: Både från- och tilluftsfläkten samt brandgassjällen till brandrummet stänger vid händelse av brand. En tryckutjämning sker mellan trapphus och våningarna i form av att backspjäll installeras mellan trapphuset och anslutande våningsplan, med flödesriktning ut från trapphuset. I tabell 21 redovisas förutsättningarna för analysen.

Tabell 21 Förutsättningar steg 2 för driftfall 3

Driftfall 3	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgassjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda

1. *Vad händer om systemet är utformat som i tabell 21 samt att backspjäll är installerat i trapphuset med en flödesriktning ut från trapphuset? Metoden kan troligen innebära att acceptabla tryckskillnader uppkommer.*
2. Det anses vara sannolikt att personer kommer kunna utrymma.
3. Konsekvenserna är att det finns risk stora egendomsskador kan uppkomma om det sker brand- och brandgasspridning i byggnaden.
- 4.

Nedan i tabell 22 redovisas sammanfattningen ur det sista steget för riskanalysen av driftfall 3.

Tabell 22 Sammanställning steg 2 för driftfall 3

1. Vad händer om systemet utformas som tabell 21 samt att backspjäll installeras mellan trapphuset och våningsplanen?	Acceptabla tryckskillnader. Dock kvarstår det en stor risk för brand- och brandgasspridning
2. Uppskatta sannolikheten för detta (låg, medel eller hög).	Låg sannolikhet för personskador Liten risk för stora tryckskillnader Stor risk för brandgasspridning
3. Identifiera konsekvensen.	Egendom - och personskada

8.3.1 Analys- driftfall 3

Metoden med stoppade fläktar beskrivs i avsnitt 5.1. Detta är en gammal skyddsmetod och förlitar sig på att brandgaser förs ut ur byggnaden genom de vertikala förbigångarna med hjälp av termisk stigningskraft. Jensen (2006) beskriver olika driftsfall där metoden med stoppade fläktar och förbigångar appliceras. I rapporten har förbigångar ej undersökts, då fokus har legat på tryckskillnader i byggnaden. Metoden är ej helt riskfri, det är vanligt med problem med uppvärmda brandgaser vilket innebär en tryckuppbyggnad som leder till att brandgaser sprids i byggnaden, när de förs ut ur byggnaden. Vid en brand i Jönköping 2001, hade brandgasspridning skett i en byggnad som använde sig av metoden. Det visade sig att brandgasspridning skedde främst till de översta våningarna (Jonsson, 2001).

Metoden med avstängda fläktar till skillnad från driftfall 2, där till- och frånluftsfläkten är i drift, är att det inte finns några fläktar som motverkar övertrycksfläkten. Det finns inte heller någon frånluft som innebär att brandgaser kan transporteras ut ur byggnaden. Jämfört med fläktar i drift anses denna metod ej vara lika bra som driftfall 2. Metoden med avstängda fläktar kommer att undersökas vidare då det är en så pass vanlig metod, dock med restriktionerna på att den ej är lika säker som metoden med fläktar i drift.

8.4 Sammanfattning driftfall

En *what if- analys* genomfördes för de tre driftfallen för att på så vis ligga som grund för åtgärder att undersöka vidare med bland annat simuleringar i PFS. Analysen tyder på att fläktar i drift tillsammans med tryckavlastning är den metod som troligen är att rekommendera. Styrning av spjäll är även en metod som troligen kan rekommenderas.

Ur brand- och brandgasspridningsperspektiv är metoden att stänga både tillufts- och frånluftsfläkten ej att rekommendera, dock påverkar metoden inte tryckskillnader i byggnaden lika mycket som exempelvis metoden med att endast ha frånluften i drift.

Metoden att endast ha tilluften i drift vid händelse av brand visar sig vara bra ur ett tryckbalansperspektiv, då metoden innebär att tryckskillnader i byggnaden minimeras. Riskerna med metoden är att brand- och brandgasspridning kommer ske i byggnaden via ventilationssystemet och att detta sker innan personer hunnit utrymma. Nedan i tabell 23 – 25, redovisas de åtgärder som kommer undersökas vidare i med hjälp av PFS i kapitel 9-11. Alternativa åtgärder kommer även undersökas dock inte med PFS utan endast med teoretiska resonemang. Förkortningarna i tabellerna står för följande: ÖTF; Övertrycksfläkt placerad i trapphuset. FF; frånluftsfläkt, ansluten till våning 1. TF; tilluftsfläkt, ansluten till våning 1. BGS; Brandgasspjäll.

Tabell 23 Metoder att undersöka vidare för driftfall 1

Driftfall 1	ÖTF	FF	TF	BGS - brandrummet	BGS - I ej brandutsattas rums frånluft	Backspjäll
Innan åtgärder	I drift	I drift	Avstängd	Stängda	Öppna	Ej installerade
Konvertera TF till FF	I drift	I drift	Körs som frånluftsfläkt	Stängda	Öppna	Ej installerade
Backspjäll	I drift	I drift	Avstängd	Stängda	Öppna	Installerade
Brandgasspjäll på all frånluft	I drift	I drift	Avstängd	Stängda	Stängda	Installerade

Tabell 24 Metoder att undersöka vidare för driftfall 2

Driftfall 2	ÖTF	FF	TF	BGS - brandrummet	BGS - I ej brandutsatta rums frånluft	Backspjäll
Innan åtgärder	I drift	I drift	I drift	Stängda	Öppna	Ej installerade
Backspjäll	I drift	I drift	I drift	Stängda	Öppna	Installerade
Brandgasspjäll på all frånluft	I drift	I drift	I drift	Stängda	Stängda	Ej installerade
Brandgasspjäll på all frånluft samt backspjäll	I drift	I drift	I drift	Stängda	Stängda	Installerade

Tabell 25 Metod att undersöka vidare för driftfall 3

Driftfall 3	ÖTF	FF	TF	BGS - brandrummet	BGS - I ej brandutsatta rums frånluft	Backspjäll
Innan åtgärder	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda	Öppna	Ej installerade
Backspjäll	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda	Öppna	Installerade

9. Åtgärder Driftfall 1 - Frånluft i drift vid brand

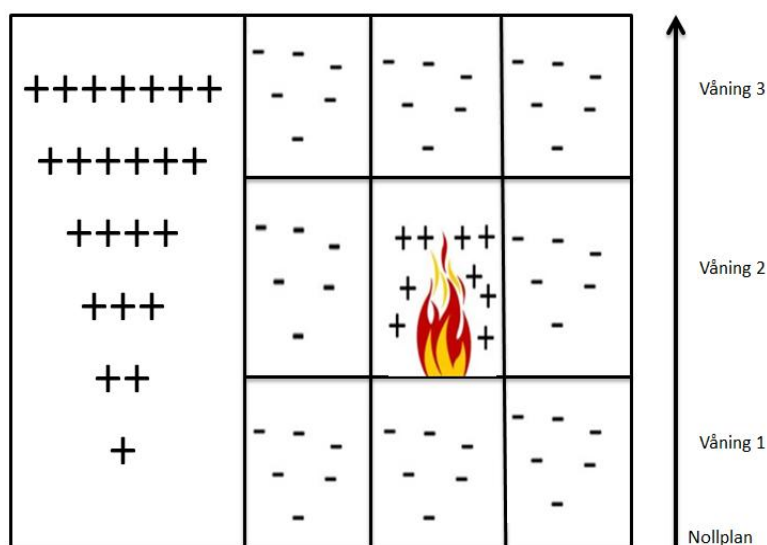
Den första situationen som kan förekomma i byggnader vid händelse av brand är att tilluftsfläkten stänger samtidigt som frånluftsfläkten fortfarande är i drift. I brandrummet stänger brandgasspjällen både till- och frånluften. Nedan i tabell 26 beskrivs förutsättningarna för driftfall 1, vid normaldrift samt vid händelse av brand.

Tabell 26 Förutsättning driftfall 1

Driftfall 1	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	Avstängd	Stängda

Metoden med att frånluftsfläkten fortfarande är i drift vid händelse av brand, innebär att ventilationssystemet blir mer robust mot brand- och brandgasspridning än om det endast är tilluften som är i drift. Frånluftssystem är mer motståndskraftiga än vad ett tilluftssystem är, samt spridning via frånluften innebär att sannolikheten att brand- och brandgaser transporteras in i ej brandutsatta utrymmen är mindre. (Gordonova, personlig kommunikation 2012-01-30).

Genom att endast låta frånluftsfläkten vara i drift vid händelse av brand, skapas ett undertryck i de rum som brandgasspjällen ej stänger till. Detta innebär att större tryckdifferens mellan trapphuset och anslutande rum kommer uppkomma då trapphuset övertrycksatts, vilket innebär att problemet för utrymmande att öppna dörrar kan förväntas öka. Figur 5 visar hur de relativa tryckskillnaderna i byggnaden kan förväntas se ut när frånluftsfläkten endast är i drift samt att trapphuset har övertrycksatts.



Figur 5 Tryckskillnaderna i byggnaden

Plustecken symboliserar ett relativt övertryck medan minustecken symboliserar ett relativt undertryck. Nedan i figur 7 presenteras simuleringen för driftfall 1, tabell 26 redovisar förutsättningen för simuleringen.

I figur 6 redovisas läckaget från våningsplanen och trycket som redovisas i figuren är de relativa tryckskillnaderna mellan våningarna och trapphuset som ska studeras, figur 7 visar det fullständiga systemet i PFS. I tabell 27 redovisas tryckskillnaden i trapphuset i förhållande till våningsplanen och ett förväntat övertryck på nästan 370 Pa kan uppkomma i trapphuset. Ett övertryck på högst 80 Pa i trapphuset kan accepteras för att personer med rimlig kraft ska kunna öppna dörrarna och därför anses 370 Pa vara ett oacceptabelt värde ur ett personsäkerhetsperspektiv.

Åtgärder som identifierades i litteraturstudien i kapitel 5 och 6 samt i riskanalysen undersöks nedan för driftfalldriftfall 1.

Tabell 27 Sammanfattning tryckskillnader mellan trapphus och våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2-Brandrummet	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
245,6 Pa	22 Pa	369,6 Pa

" l ä c k a g e v å n i n g 1 "

1 l e a k : h : t q 1 0 1
 - 2 4 5 . 6 P a - 3 5 . 8 P a
 1 1 0 . 8 3 l / s

" l ä c k a g e v å n i n g 2 "

2 l e a k : h : t q 2 0 1
 - 2 2 . 0 P a 2 6 7 . 9 P a
 3 3 . 1 5 3 l / s

" l ä c k a g e v å n i n g 3 "

3 l e a k : h : t q 3 0 1
 - 3 6 9 . 6 P a 0 . 4 P a
 1 3 5 . 9 4 l / s

Figur 6 Tryckskillnader i PFS

```

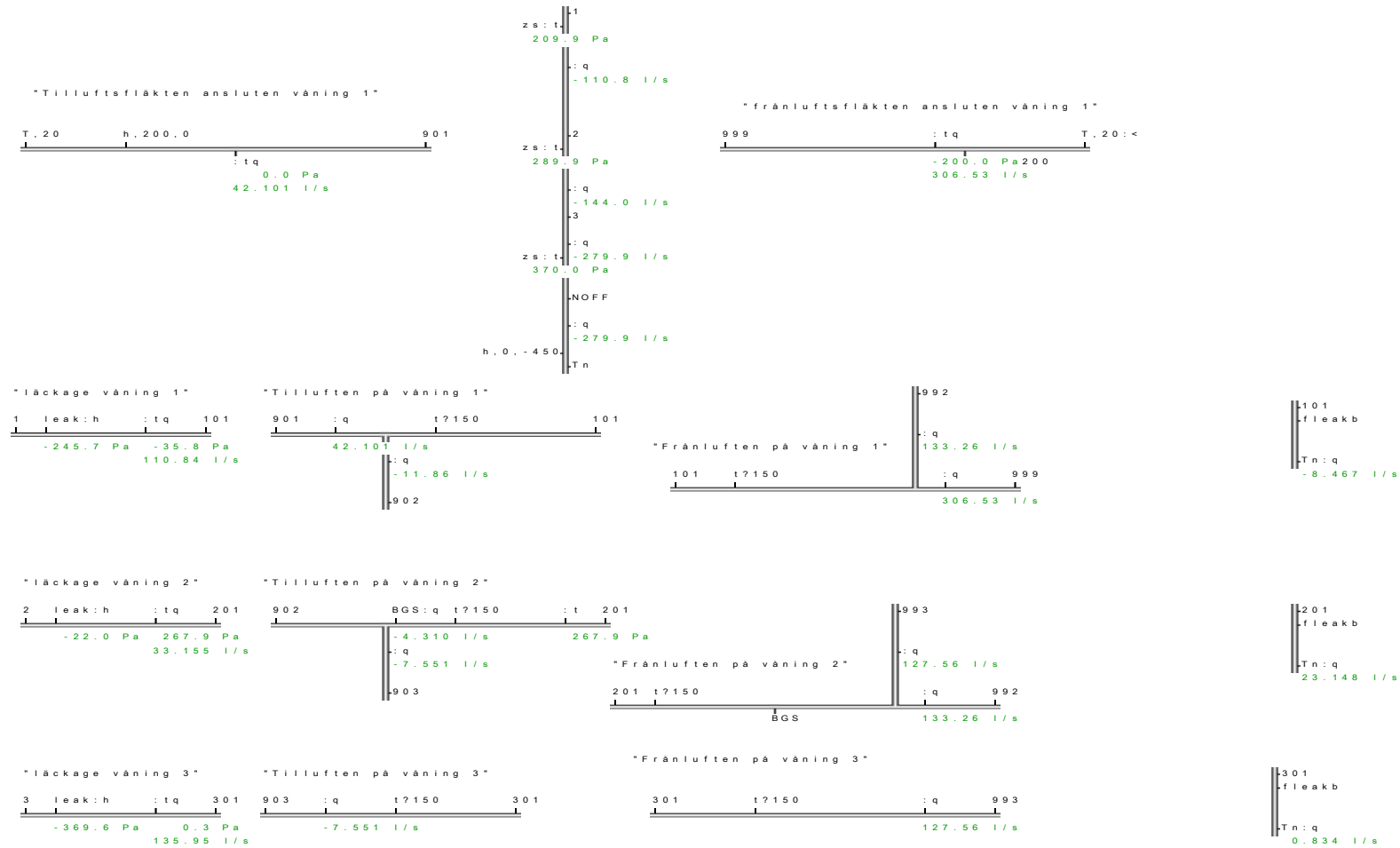
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50.50 fleakb=t,50.10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1.0 NON=o,0.1 BGS=o,1.324259.150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"BGS=Brandgasspjäll"
"KIBS=BAckspjäll"

```



```

end1 1 system 46 elements 0 errors 14 observations 2016-01-30 11.50.15

```

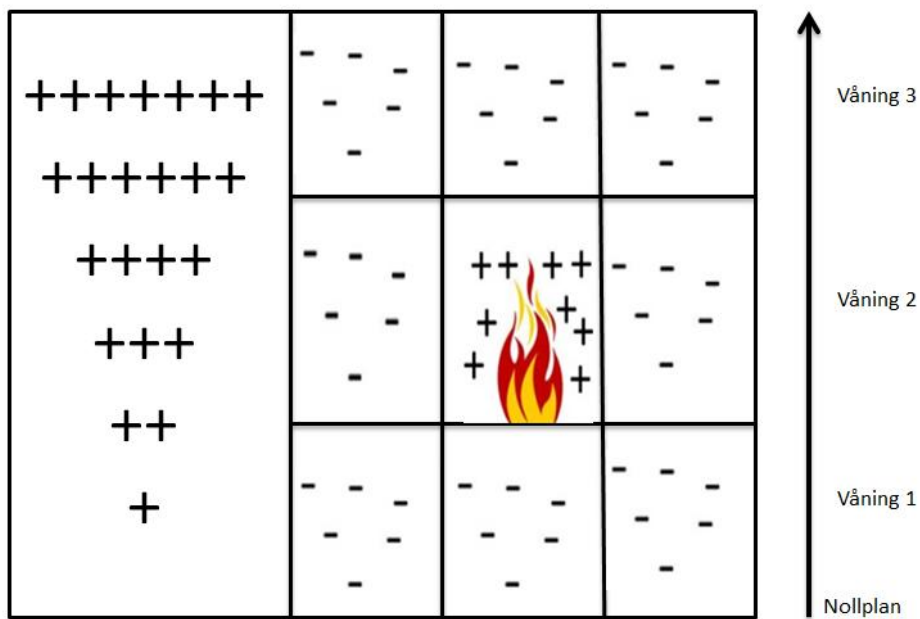
Figur 7 Simulering i PFS innan några åtgärder är vidtagna

9.1 Åtgärd - Konvertera till frånluft

I avsnitt 5.10, beskrivs metoden att konvertera tilluft till frånluft, vilket skulle innebära att två frånluftssystem skulle köras vid händelse av brand. Brandgasspjällen till brandutsatt utrymme kommer fortfarande stänga och syftet med metoden är att eventuella brandgaser ska transporteras ut ur byggnaden. Metoden med att stänga tilluften eller konvertera tilluften till frånluft är en väl beprövad metod som fortfarande används vid nybyggnationer.

Ur brand- och brandgasspridningssynpunkt anses metoden vara bra då frånluftssystem är mer robust än ett tilluftssystem (Jensen, 2002; Gordonova, personlig kommunikation 2012-01-30). Problematiken med att större tryckskillnader mellan trapphuset och resterande byggnad uppstår vilket försvårar möjligheten att öppna dörrar till trapphuset ökar med följande metod.

Fördelen med metoden, vilket styrks av litteraturstudien i avsnitt 3.2.3 samt i stycket ovanför, är att sannolikheten för att brandgasspridning till ej brandutsatta rum minskar (Jensen, 2002). Slutsatsen från litteraturstudien, beskriven i avsnitt 4 och 5, är att metoden ej är att rekommendera i en situation där trapphusen ska användas som utrymningsväg vid händelse av brand på grund av att tryckdifferensen mellan utrymmen i byggnaden förväntas. En ökad tryckdifferens gör det svårt för utrymmande att öppna dörrar vilket innebär att det föreligger en risk att personer ej kan utrymma. Trots att metoden med konvertera tilluft till frånluft anses relativt robust så är den endast det i ett inledande skede. Får en brand tillväxa i ett utrymme kommer tryckuppbyggnaden i rummet bli så högt att spridning till intilliggande rum kommer inträffa även fast ovanstående metod används. Fungerar inte trapphusen så personer kan utrymma finns det risk att de kommer vara kvar i byggnaden när kritiska förhållanden uppkommer, vilket ej är acceptabelt. Figur 8 illustrerar hur tryckskillnaderna i byggnaden troligen kommer se ut. Följande metod anses ej bidra till en bättre tryckbalans i byggnaden vilket innebär att metoden endast kommer försvåra utrymning och därav kommer följande metod ej undersökas vidare.



Figur 8 Schematisk skiss på tryckprofilen i byggnaden.

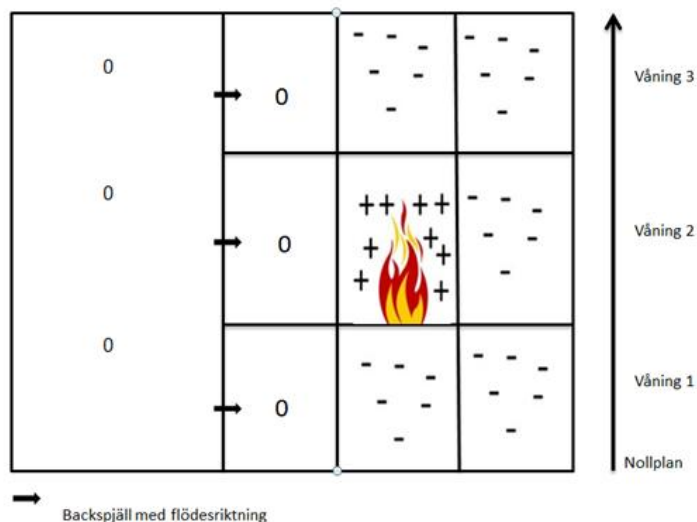
9.2 Åtgärd - Backspjäll i trapphus

Spjäll används för att förhindra flöden. Backspjäll reglerar endast flöden åt ett håll, vilket innebär att det kan flöda fritt i ena riktningen men åt motsatt riktning stoppas flödet. I avsnitt 5.5 och 5.6 beskrivs metoden med spjäll och backspjäll. Följande åtgärd identifierades i riskanalysen som en möjlig metod att minska de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och våningsplanen.

Genom att installera backspjäll i trapphuset där spjällen är öppna när flödet går ut från trapphuset uppnås en tryckutjämning mellan trapphuset och intilliggande rum. Metoden är ej beprövad och därför kommer slutsatserna grunda sig på teoretiska resonemang och simuleringar i PFS. De värdena som antagits i PFS för backspjällen är grundade på beräkningar vilket presenteras i bilaga A. Hur stort flöde, samt antalet backspjäll, som behövs installeras bör undersökas med hjälp av praktiska tester samt observationer för att säkerställa korrekta faktorer, detta kommer ej genomföras i denna rapport.

Backspjäll är känsliga för nedsmutsning och går ej att styra, vilket innebär att praktiska tester är än mer viktiga för att säkerställa att metoden fungerar. Idag finns det backspjäll som är EI60 klassade vilket innebär att metoden rent teoretiskt är möjlig. Det finns även ett så kallade ABC-Protect60 spjäll vilket är ett brandbackspjäll SC+60 samt ett vanligt backspjäll som stänger när det blir ett ökat mottryck i kanalen. (Larsson, personlig kommunikation, 2015-02-09) Se även bilaga C för produktinformation.

I figur 9 illustreras hur rummen närmst trapphuset med insatta backspjäll kan förväntas tryckutjämnas förhållande till resterande rum. Det bör dock noteras att fullständig tryckutjämning ej kan förväntas.



Figur 9 Schematisk skiss på tryckprofilen i byggnaden

I tabell 28 redovisas förutsättningarna för simuleringen i PFS.

Driftfall 1	Övertrycks Fläkt	F-Fläkt	T-Fläkt	BGS - brandrummet	BGS - Frånluften	Backspjäll trapphus
Innan åtgärder vid brand	I drift	I drift	Stängd	Stängda	Öppna	Finns ej
Med Backspjäll	I drift	I drift	Stängd	Stängda	Öppna	Insatta

I figur 11 redovisas PFS simuleringen och i figur 10 redovisas ett urklipp av systemet där de relativa tryckskillnaderna kan läsas av.

```

" läckage våning 1 "

1  leak : h      : tq      1 0 1
-----|-----|-----
      - 80 . 4 Pa   129 . 4 Pa
1  K I B S : h      63 . 4 20 l / s
-----|-----|-----
      - 80 . 4 Pa   129 . 4 Pa
                          300 . 83 l / s

" läckage våning 2 "

2  leak : h      : tq      2 0 1
-----|-----|-----
      - 0 . 7 Pa   289 . 2 Pa
2  K I B S : h      5 . 980 l / s
-----|-----|-----
      - 0 . 7 Pa   289 . 2 Pa
                          28 . 371 l / s

" läckage våning 3 "

3  leak : h      : tq      3 0 1
-----|-----|-----
      - 113 . 8 Pa  256 . 2 Pa
3  K I B S : h      75 . 427 l / s
-----|-----|-----
      - 113 . 8 Pa  256 . 2 Pa
                          357 . 78 l / s
    
```

Figur 10 Tryckskillnaderna i PFS

Sammanfattningen av de relativa tryckskillnaderna redovisas i tabell 29, där ett positivt värde indikerar ett övertryck i trapphuset förhållande till anslutande våningsplan.

Tabell 289 Sammanställning, tryckskillnaden i trapphuset jämfört med anslutande våningar

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
80,4 Pa	0,7 Pa	113,8 Pa

Figur 10 visar att ett förväntat övertryck på nästan 114 Pa, vilket även presenteras i tabell 28 som visar på tryckskillnaden i trapphuset i förhållande till våningsplanen. Ett förväntat övertryck i trapphuset på 114 Pa är ej ett acceptabelt värde ur personsäkerhetsperspektivet dock ett betydligt bättre resultat än innan backspjällen installerades. Det kan diskuteras huruvida andra typer av backspjäll samt ett ökande antal spjäll skulle få ner tryckdifferensen än mer. Metoden rekommenderas då den är en möjlig lösning på problemet med dörrar som är svåra att öppna samt stänga. Det anses dock att metoden, i kombination med andra implementeringar av möjliga lösningar, möjligen kan bli mer robust. Följande påstående undersöks vidare i avsnitt 9.4.


```

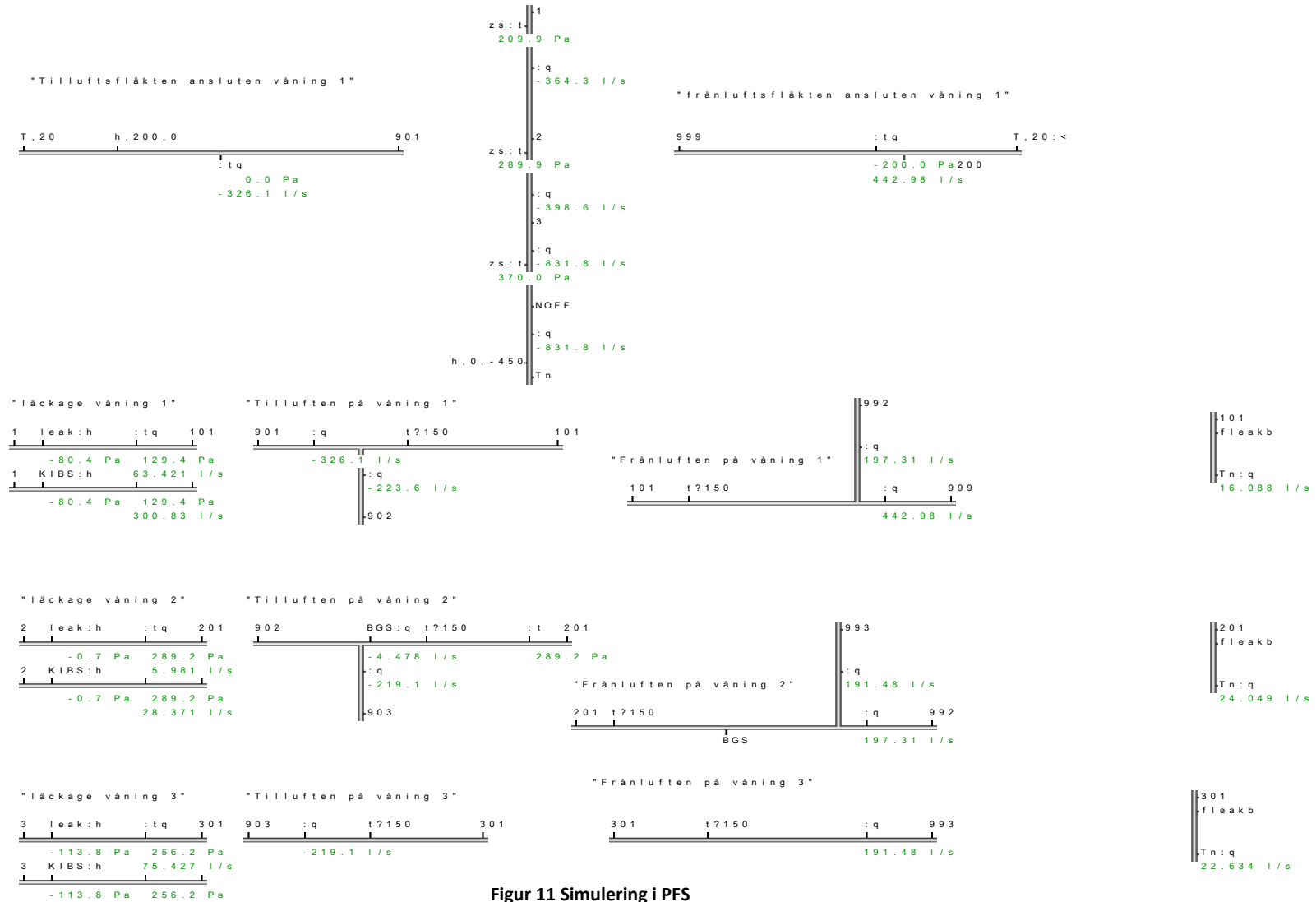
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50.50 fleakb=t,50.10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1.0 NON=o,0.1 BGS=o,1.324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"KIBS=backspjäll"
"BGS=Brandgasspjäll"

```



Figur 11 Simulering i PFS

9.3 Åtgärd - Stänga samtliga brandgasspjäll för frånluften i kombination med tryckavlasta med hjälp av backspjäll

Resonemanget angående backspjäll som förs för metoden ovanför, avsnitt 9.2, förs även här. Syftet med att ha brandgasspjäll på all frånluft är att minimera de stora tryckskillnader som uppkommer mellan trapphuset och våningsplanen. Trapphuset övertrycksätts vid händelse av brand och en tryckskillnad på 80- 20 Pa övertryck i trapphuset gentemot våningsplanen är önskvärt.

I tabell 30 redovisas förutsättningarna för simuleringen i PFS samt normalfallet innan brand utbrutit.

Tabell 30 Förutsättning för simulering samt analys

Driftfall 1	Övertrycks Fläkt	F-Fläkt	T-Fläkt	BGS - brandrummet	BGS - Frånluften	Backspjäll trapphus
Innan åtgärder vid brand	I drift	I drift	Stängd	Stängda	Öppna	Finns ej
Med Backspjäll och Brandgasspjäll på all frånluft	I drift	I drift	Stängd	Stängda	Stängda	Insatta

"läckage våning 1"

1	leak:h	: tq	101
	-13.9 Pa	196.0 Pa	
1	KIBS:h	26.320 l/s	
	-13.9 Pa	196.0 Pa	
		124.85 l/s	

"läckage våning 2"

2	leak:h	: tq	201
	-0.7 Pa	289.2 Pa	
2	KIBS:h	5.981 l/s	
	-0.7 Pa	289.2 Pa	
		28.371 l/s	

"läckage våning 3"

3	leak:h	: tq	301
	-46.7 Pa	323.2 Pa	
3	KIBS:h	48.327 l/s	
	-46.7 Pa	323.2 Pa	

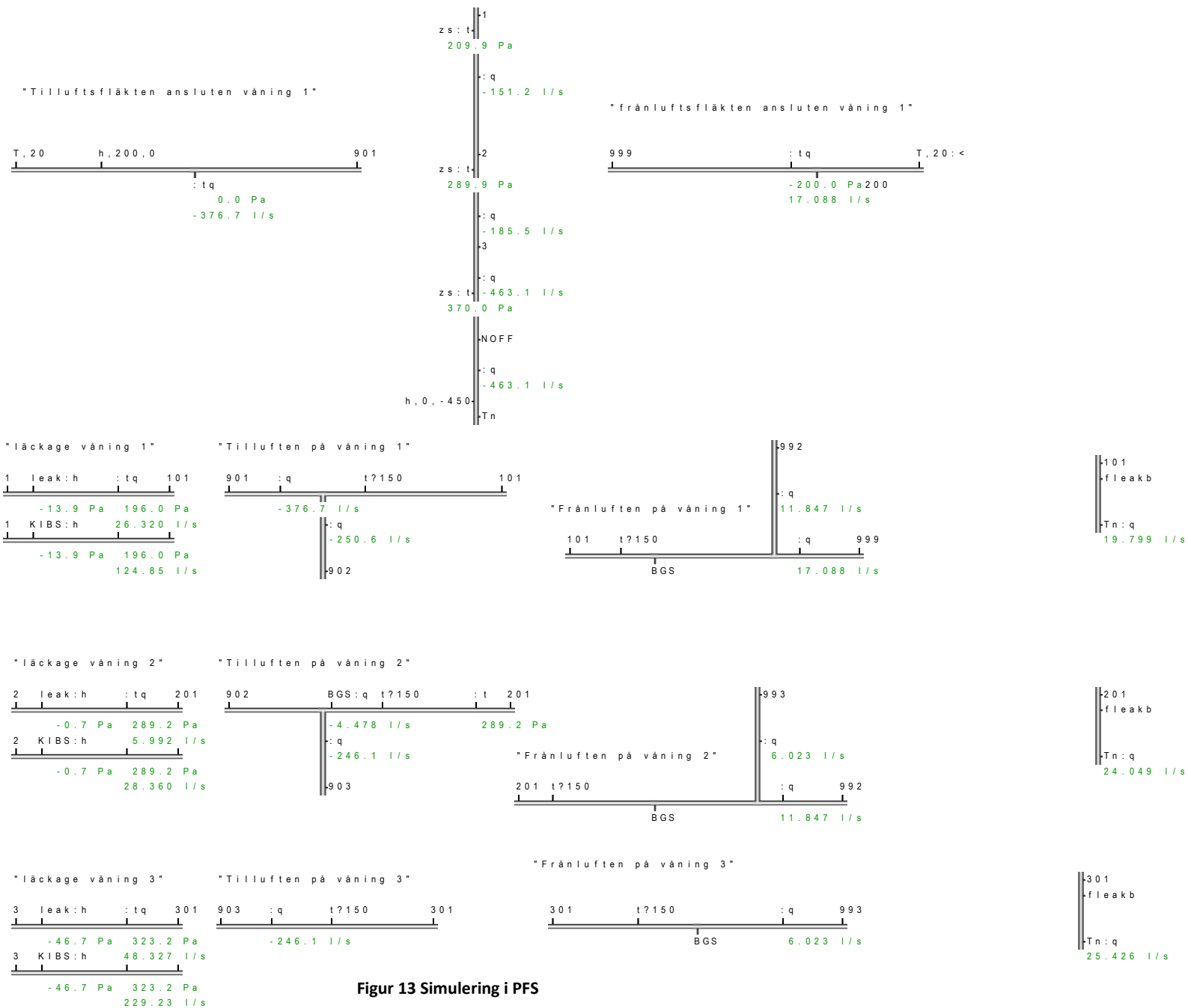
Figur 12 tryckskillnader i PFS

Sammanfattningen av de relativa tryckskillnaderna redovisas i tabell 31, där ett positivt värde indikerar ett övertryck i trapphuset förhållande till anslutande våningsplan.

Tabell 31 Sammanställning av tryckskillnader i trapphuset jämfört med våningsplanen

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
14 Pa	0,7 Pa	47 Pa

Figur 12 visar att ett förväntat övertryck på nästan 47 Pa, vilket även presenteras i tabell 31 som visar på tryckskillnaden i trapphuset i förhållande till våningsplanen. Tryckförhållandena i toppen på trapphuset anses vara bra dock är det för lite skillnad i botten på trapphuset. Syftet med att trycksätta trapphuset är att övertrycket ska skydda mot brand- och brandgasspridning så personer kan utrymma. Elimineras denna tryckskillnad eller går den under 20 Pa vilket är branschstandard innebär det en risk att brand- och brandgasspridning kommer ske till trapphuset och det kan på så vis ej användas som en utrymningsväg. Metoden rekommenderas ej och kommer inte undersökas vidare då det anses innebära stor risk för att brand- och brandgasspridning sker. I figur 13 redovisas hela PFS systemet.



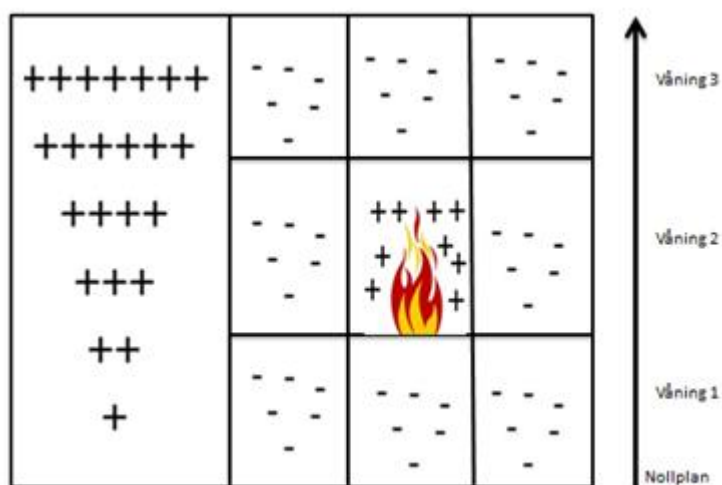
Figur 13 Simulering i PFS

9.4 Åtgärd – Reglering alternativt utbyte av dörrar

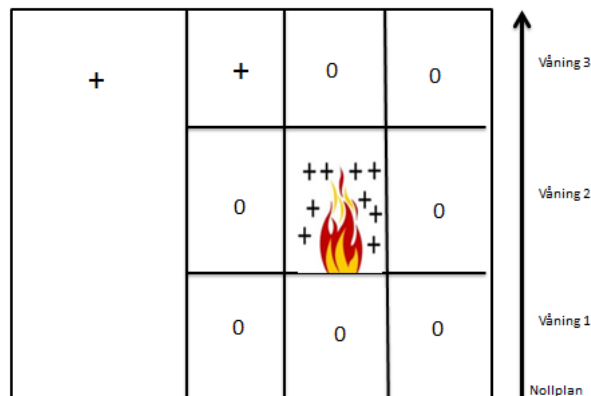
Problemet med att dörrar inte går att öppna kan möjligen underlättas genom att byta ut dörrarna till mer lättanvändbara dörrar. Det finns idag få alternativ på svängdörrar som uppfyller dessa krav, dock finns det möjlighet att installera så kallade skjutdörrar. Dessa dörrar liknar dörrar som finns på fartyg. Fördelen med dörrarna är att personen som öppnar dörrarna inte behöver arbeta mot ett tryck. På fartyg kan dörrarna öppnas med tryckluft vilket anses vara en robust åtgärd då utrymmande personer ej skulle behöva nyttja egenkraft för att öppna dörren vid händelse av brand. På kärnkraftverket Forsmark har möjligheten med skjutdörrar börjat undersökas. Metoden användes redan i England, som beskrivs i avsnitt 6.5, samt på vissa oljeplattformar och fartyg. Det skall noteras att dessa dörrar på oljeplattformar och fartyg ej används för att lösa problem med höga tryck som en följd av en brand utan på grund av extrema väderförhållanden.

En andra dörrlösning är att en ny typ av dörr tas fram samt certifieras. En möjlig lösning är en branddörr med någon form av tryckutjämnare. Vid höga tryck öppnas en ventil vilket jämnar ut trycket. Idag finns inte en sådan certifierad branddörr på marknaden.

Figur 14 illustrerar tryckförhållandet som förväntas uppkomma fram till någon av dörrarna som mynnar från någon våning mot trapphuset öppnas. I figur 15 visas tryckförhållandet när någon av dörrarna har öppnats.



Figur 14 Tryckförhållande i byggnaden när samtliga dörrar är stängda



Figur 15 Schematisk skiss på tryckprofilen, när någon dörr är öppnad. Dörr mot det rum som öppnas, tryckutjämnas och får ett högre tryck jämför med de andra rummen.

Metoden med skjutdörrar anses vara en metod att rekommendera. Skjutdörrar används idag på vissa kärnkraftverk och fungerar väl. Då ingen kostnad -nyttoanalys har genomförts tas ingen hänsyn till kostnader för att bygga om trapphuset för att installera dörrarna. Hur täta samt brandklassade skjutdörrar är har inte undersökts i rapporten och resonemang kring hur stort läckage det blir vid installation av skjutdörrar bör även föras då det möjligen innebär att justering av fläktar måste genomföras.

På kärnkraftverket i Oskarshamn, se avsnitt 6.2, har en justering av dörrarna gjorts för att undkomma problemet med dörrar som ej kan öppnas. Dörrar ska öppnas i den riktning utrymning sker, vilket blir inåt i ett trapphus. Oskarshamn har vänt på dörrarna så de öppnas ut ifrån trapphuset. Detta innebär att dörrarna lätt kommer kunna öppnas så länge det råder ett övertryck i trapphuset. Problemet som kan uppkomma är att dörrar flyger upp och skadar folk som ska utrymma på grund av obalansen i tryck mellan trapphus och intilliggande rum. Oskarshamn löste problemet genom att ställa in dörrstängarna så dörrarna öppnas med en acceptabel kraft. Dörrstängarna ställdes in när verket var satt i brandläge, detta innebär att dörrarna är trögöppnade i normaldrift. Dock anses det acceptabelt att dörrstängarna är tröga vid normaldrift om de vid händelse av brand fungerar då det anses viktigast. Problemet med att stänga dörrarna löses även med metoden, eftersom när dörren väl är öppen sker en tryckutjämning och det är enkelt att stänga dörren. Det bör dock tilläggas att dörrarna endast kan stängas om tryckskillnaderna ej är för stora, var denna gräns går är svårt att säga exakt utan är beroende på fall till fall. Problemet med att dörrarna kan komma att bli svåra att stänga kommer ej undersökas vidare då huvudproblemet är att utrymma personer från byggnaden, dock kommer det beaktas vid analysen av åtgärden.

Metoden med att vända på slagriktningen på dörrarna rekommenderas då teorin om hur tryckutjämning sker samt erfarenheter från kärnkraftverket i Oskarshamn styrker metodens funktionalitet. Följande metod kommer ej att undersökas i PFS eller för resterande driftfall då metoden anses kunna fungera som komplement till samtliga driftfall.

9.5 Sammanfattning driftfallåtgärder driftfall 1

Att eliminera det termiska trycket med hjälp av att genomströmma trapphuset nedifrån och uppåt anses vara en metod som generellt bör övervägas i höga trapphus utan sektionering och beskrivs i avsnitt 5.12. Det som gör att det blir problematiskt att implementera i trapphuset som beskrivs i rapporten är att luftflödet skulle motverka trycksättningen vid händelse av brand. Problemet med höga tryck i höga trapphus i Sverige kan uppkomma utan att övertrycksfläkten är i drift eller att det brinner i byggnaden. Att eliminera det termiska trycket rekommenderas på grund av Sveriges klimat, vid händelse av brand kommer dock metoden att motverka övertrycksfläkten som är placerad längst upp i trapphuset. Om metoden nyttjas bör fläkten som skapar genomströmningen i trapphuset stängas vid händelse av brand så övertrycksfläkten ej behöver arbeta mot ett motstånd. Det är dock inte en lösning för det tryck som uppkommer vid händelse av en brand och övertrycksättningen av trapphuset som då sker.

Kombination av att ställa in dörrstängarna samt installation av backspjäll anses som möjliga metoder. Att kombinera de två metoderna innebär att problemet med att öppna samt stänga dörrar kan begränsas. Det löser dock inte problemet med brand- och brandgasspridning i byggnaden. Driftfallet utgår från att tilluften stänger vilket innebär att frånluften kommer hjälpa till att transportera ut brandgaser ur byggnaden men samtidigt skapa ett undertryck. Åtgärderna kring backspjäll och tryckavlastande dörrar eller inställning av dörrstängare, anses kunna vara möjliga lösningar på problemet med obalans i tryckprofilen. Metoderna behöver dock undersökas vidare huruvida installationer är möjliga ur både ett tekniskt samt ekonomiskt perspektiv.

Utbytet av dörrar rekommenderas, dock bör en kostnad - nyttoanalys genomföras samt jämföras med metoden med som endast innefattar backspjäll.

10. Åtgärder Driftfall 2 - Från- och tilluftsfläkten i drift vid brand

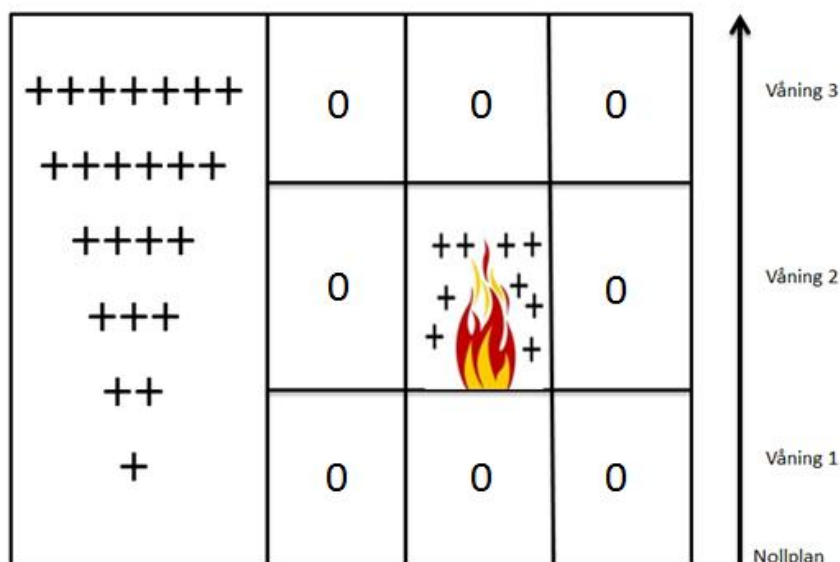
Den andra situationen som kan förekomma i byggnader vid händelse av brand är att varken till- eller frånluftsfläktarna stänger. I brandrummet stänger brandgasspjällen både från- och tilluften. Tabell 32 beskriver förutsättningarna för driftfalldriftfall 2 vid normaldrift samt vid händelse av brand.

Tabell 32 Förutsättning driftfall 2

Driftfall 3	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	I drift	I drift	Stängda

Genom att varken reglera tillufts- eller frånluftsfläkten uppstår mindre tryckskillnaderna mellan trapphusen samt de övriga rummen jämfört med driftfall 1. Dock visar PFS-beräkningarna att de relativa tryckskillnaderna fortfarande är för stora för att vara tillfredställande, se resultat nedan. I figur 18 presenteras simuleringen i PFS och ett urklipp av systemet som presenterar de relativa tryckskillnaderna i figur 17.

Till skillnad från att inte ha några fläktar i drift minskar risken för brandgasspridning (Jensen, 1998a). Figur 16 visar tryckförhållandet i byggnaden vid aktuell metod.



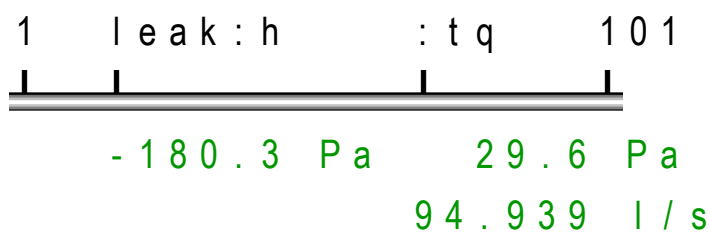
Figur 16 Schematisk skiss på tryckprofilen i byggnaden

Tabell 33 redovisas tryckskillnaden i trapphuset i förhållande till våningsplanen och en förväntad tryckskillnad på 210 Pa kan uppkomma i trapphuset, detta är ej ett acceptabelt värde ur ett personsäkerhetsperspektiv.

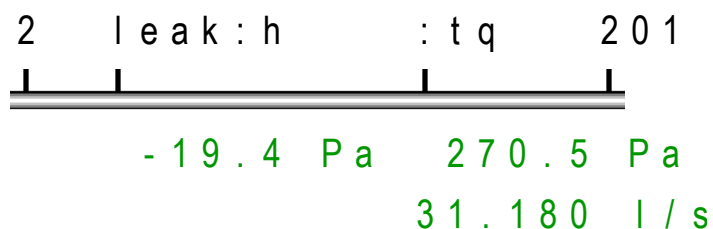
Tabell 293 Sammanställning av de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och anslutande våningar

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
180,3 Pa	19,4 Pa	210,5 Pa

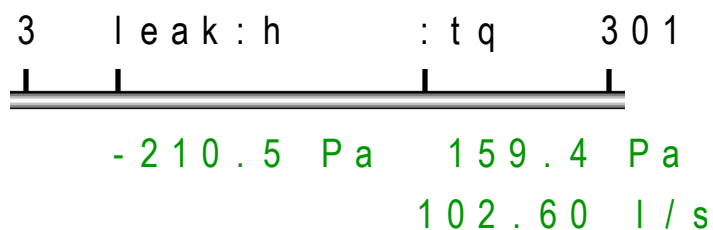
" läckage våning 1 "



" läckage våning 2 "



" läckage våning 3 "



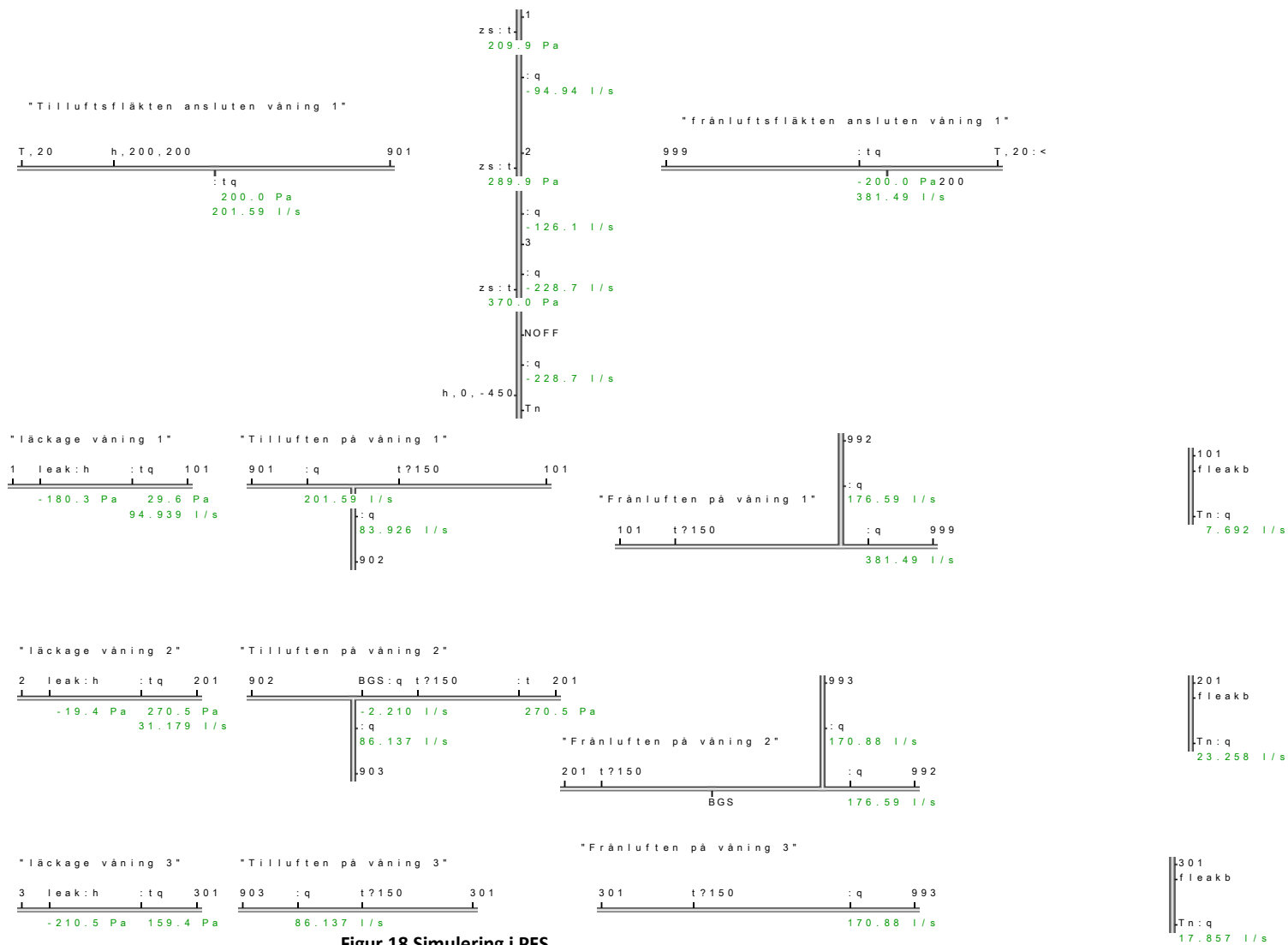
Figur 17 Tryckskillnader i PFS

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

"Trix 3= brandläga"



Figur 18 Simulering i PFS

10.1 Åtgärd - Backspjäll i trapphus

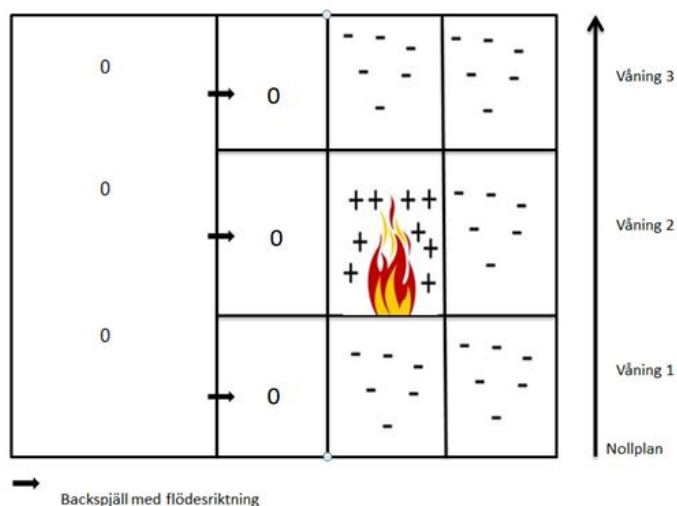
Metoden med backspjäll undersöks även i driftfall 1. Nedan presenteras syftet och målet med backspjällen. Liknande presentation är även genomförd i avsnitt 9.1. Spjäll används för att förhindra flöden. Backspjäll reglerar endast flöden åt ett håll, vilket innebär att det kan flöda fritt i ena riktningen men åt motsatt riktning stoppas flödet. I avsnitt 5.5 och 5.6 beskrivs metoden med spjäll och backspjäll.

Genom att installera backspjäll i trapphuset där spjällen är öppna när flödet går ut från trapphuset uppnås en tryckutjämning mellan trapphuset och intilliggande rum. Metoden är ej praktiskt beprövad och kommer endast att undersökas med hjälp av PFS samt teoretiska resonemang.

Analysen som är genomförd i driftfall 1 appliceras även här. Flödet igenom och eventuellt antalet backspjäll kommer variera. Problematiken med obalansen i tryckprofilen mellan våningar och trapphus är densamme för samtliga driftfall, tryckskillnaden är större än 80 Pa vilket innebär bland annat att personer kommer ha svårt att öppna dörrar när de utrymmer. Problematiken är densamme dock kommer inte behovet av tryckutjämning vara samma då de olika driftfallen bidrar till olika stora tryckskillnader. I driftfall 2 kommer inte samma undertryck att erhållas då både från- och tilluftsfläkten är i drift. Följande metod anses möjliggöra trycksättning av trapphuset samtidigt som dörrar går att öppna och stänga.

I figur 19 illustreras hur rummen närmst trapphuset med insatta backspjäll antas tryckutjämnas i förhållande till resterande rum. Det bör dock noteras att fullständig tryckutjämning ej kan förväntas.

PFS simuleringar är genomförda och det fullständiga systemet presenteras i figur 21. I figur 20 kan de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och våningsplanen kan läsas av.



Figur 19 Schematisk skiss på tryckprofilen i byggnaden

I tabell 34 presenteras en sammanfattning av tryckskillnaden mellan trapphuset och anslutande våningsplan. Ett positivt värde innebär ett övertryck i trapphuset. Värdena kan även läsas av i figur 20 och 21 vid läckaget för varje våningsplan. Metoden rekommenderas då den är en möjlig lösning på problemet med dörrar som är svåra att öppna samt stänga. Backspjällen fungerar som tryckavlastande då flödet går från trapphuset ut till våningsplanen. Då backspjällen endast har en flödesriktning

skyddar det mot flöden från våningsplanen in till trapphuset vilket är fördelaktigt då ett sådant flöde ej är önskvärt. Det anses dock att metoden, i kombination med andra implementeringar av möjliga lösningar, möjligen kan bli mer robust. I driftfall 1 undersöktes metoden med alternativa dörrar i avsnitt 9.5. Denna metod anses även kunna implementeras här och liknade teoretiskt resonemang som i avsnitt 9.5, kan även föras i följande avsnitt.

Tabell 304 Sammanfattning av tryckskillnaden mellan trapphus och anslutande våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
34 Pa	0,6 Pa	76,7 Pa

" läckage våning 1 "

1 leak : h : tq 101



- 34.0 Pa 175.8 Pa

1 KIBS : h 41.244 l/s



- 34.0 Pa 175.8 Pa

195.64 l/s

" läckage våning 2 "

2 leak : h : tq 201



- 0.6 Pa 289.3 Pa

2 KIBS : h 5.636 l/s



- 0.6 Pa 289.3 Pa

26.731 l/s

" läckage våning 3 "

3 leak : h : tq 301



- 76.7 Pa 293.3 Pa

3 KIBS : h 61.908 l/s



- 76.7 Pa 293.3 Pa

293.66 l/s

Figur 20 Tryckskillnaden mellan trapphuset och anslutande våningsplan

```

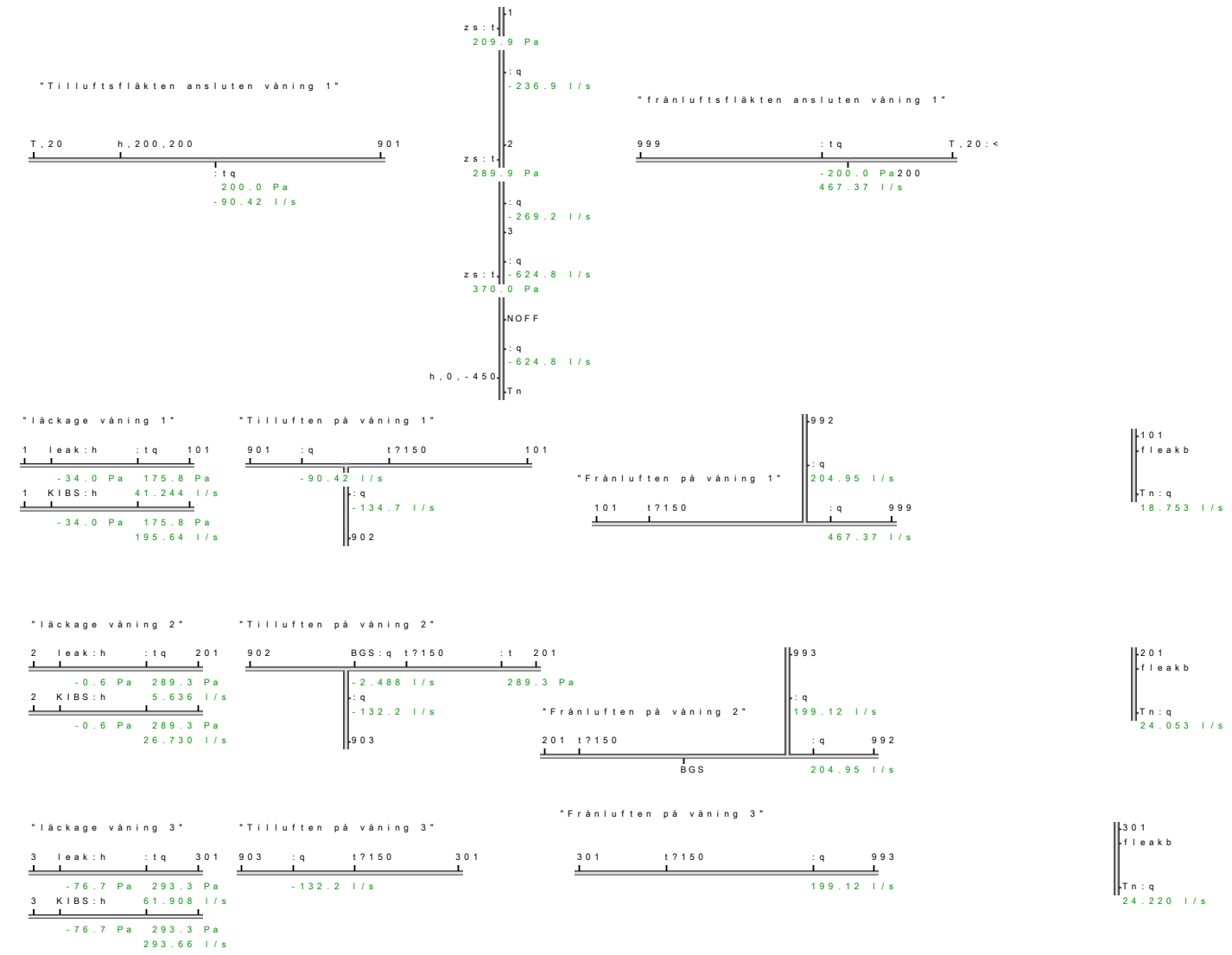
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 lmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"KIBS=backspjäll"
"BGS=Brandgasspjäll"

```



Figur 21 Simulering i PFS

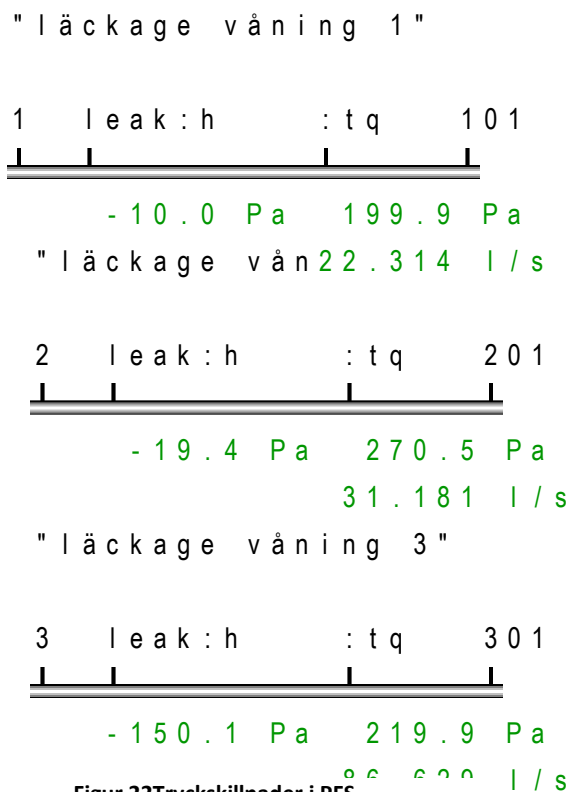
10.2 Åtgärd – Brandgasspjäll på all frånluft

En metod som framkom av riskanalysen i avsnitt 8.2 var att installera brandgasspjäll på all frånluft. Brandgasspjäll på all frånluft minskar risken med att skapa ett undertryck i ej brandutsatta rum jämfört med om rummen haft brandgasspjäll som stängt. Brandgasspjällen för tilluften stänger endast i brandrummet. Metoden innebär att robustheten med fläktarna i drift erhålls samtidigt som en tryckbalans i byggnaden förväntas erhållas.

I figur 23 presenteras simuleringen i PFS och i figur 22 redovisas tryckskillnaden mellan trapphuset och våningsplanen. Ett negativt tryck i figur 23 innebär ett övertryck i trapphuset. De relativa tryckskillnaderna i trapphuset i förhållande till våningsplanen, sammanfattas i tabell 35. Det kan förväntas ett övertryck i trapphuset på 150 Pa vilket är större än 80 Pa och kan då innebära problem för utrymmande att öppna dörrarna. Värdet är därför ej acceptabelt ur ett personsäkerhetsperspektiv. Även trycket i botten på trapphuset ej acceptabelt då det understiger 20 Pa och det föreligger risk för brand- och brandgasspridning in i trapphuset. Det bör dock uppmärksammas att styrningen av spjällen har förbättrat tryckbalansen jämfört med att inte styra dem.

Tabell 315 Sammanfattning av de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och anslutande våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
10 Pa	19,4 Pa	150,1 Pa



Figur 22 Tryckskillnader i PFS


```

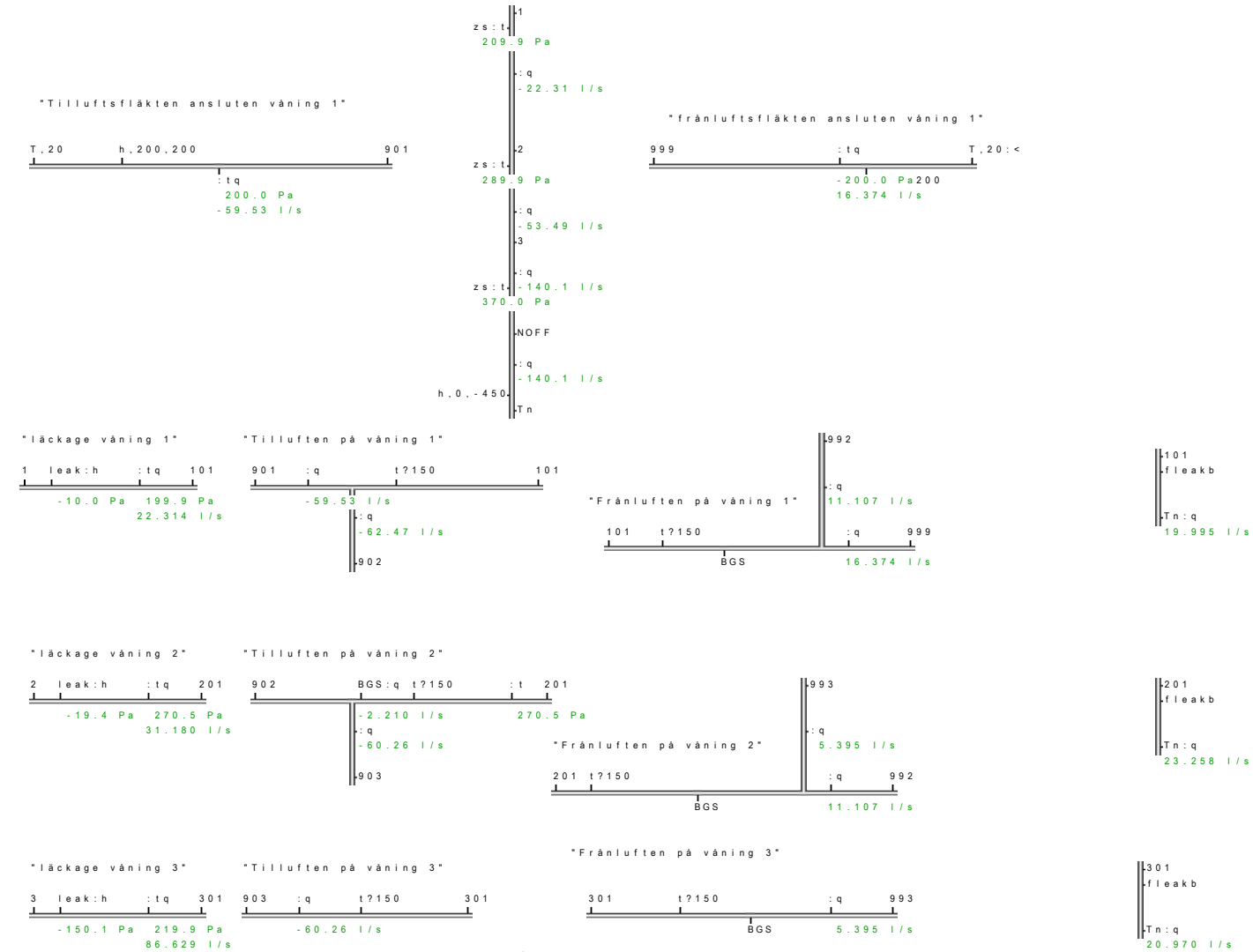
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"KIBS=Backspjäll"
"BGS=Brandgasspjäll"

```



Figur 23 Simulering i PFS

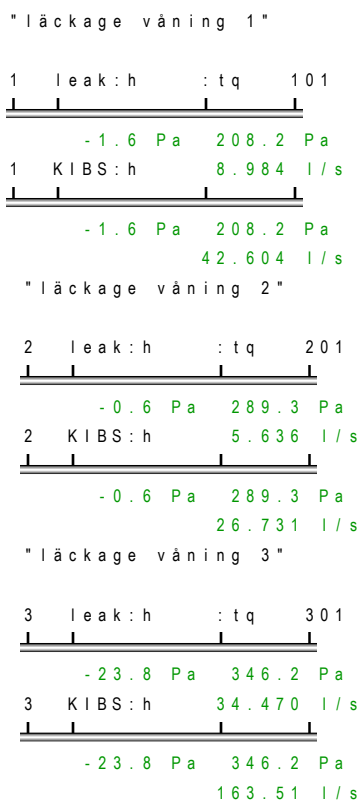
10.3 Åtgärd – Brandgasspjäll på all frånluft i kombination med backspjäll

Simuleringen i PFS visar att installation av backspjäll i trapphuset kan vara en metod som möjligen skulle kunna lösa problematiken med för stora tryckskillnader i byggnaden vid händelse av brand, se fullständigt indata för PFS i bilaga B. Brandgasspjäll på all frånluft förbättrar tryckbalansen i byggnaden jämfört med om ej funnits brandgasspjäll för frånluften dock är trycken fortfarande för höga i toppen på trapphuset. Kombination av de båda åtgärderna kan möjligen minska tryckskillnaderna än mer. Det som dock förväntas uppkomma är att tryckskillnaderna elimineras helt i botten på trapphuset, vilket ej är önskvärt eftersom då är trapphuset ej motståndskraftigt mot brand- och brandgasspridning.

I figur 24 presenteras simuleringen i PFS och ett urklipp av delen där de relativa tryckskillnaderna mellan våningarna och trapphuset läses av. Tabell 36 sammanfattar tryckskillnaden mellan trapphuset och anslutande våningsplan där värdena är tagna från figur 25. På våning 1 kan endast ett övertryck på 2 Pa förväntas vilket framkom i litteraturstudien i avsnitt 5.12 är för lågt för att förväntas ha motståndskraft mot brand- och brandgasspridning. En kombination av de båda metoderna rekommenderas där av ej.

Tabell 36 Sammanfattning tryckskillnader mellan trapphuset och anslutande våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
1,6 Pa	0,6 Pa	23,8 Pa



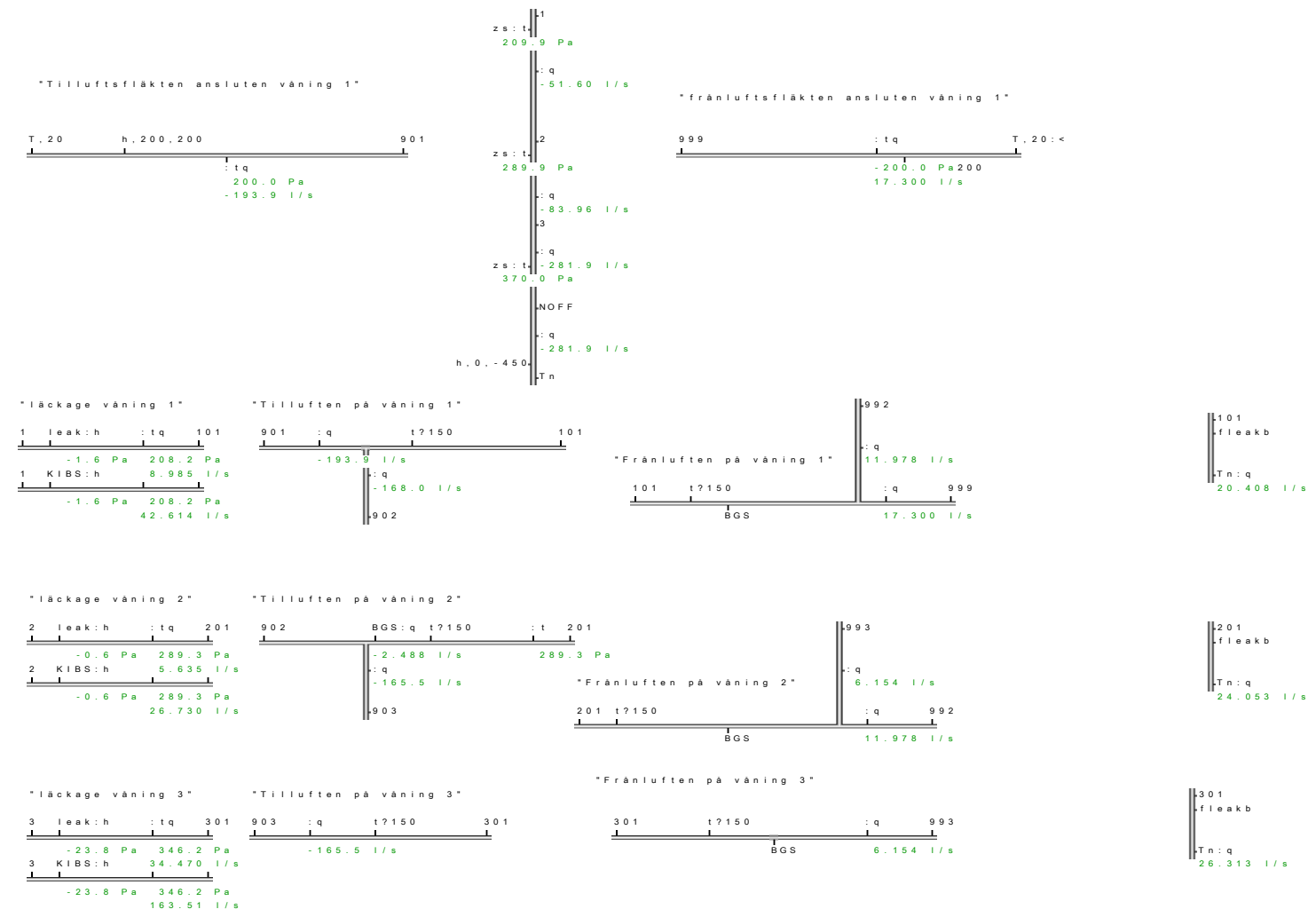
Figur 24 Tryckskillnader i PFS

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rseee=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,150:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

Trix 3= brandläga
 KIBS=backspjäll
 BGS=Brandgasspjäll



Figur 25 Simulering i PFS

10.4 – Sammanfattning driftfallåtgärder driftfall 2

Styrningen av ventilationen i driftfall 2 innebär att ett mindre undertryck skapas i ej brandutsatta rum jämfört med driftfall 1. Nedan presenteras analysen av samtliga åtgärder för driftfall 2.

Det som talar för styrningen av ventilationen i typproblem 2 är att stora undertryck som uppnås med styrningen av ventilationen i driftfall 1 undviks.

Åtgärden att eliminera det termiska trycket med hjälp av att genomströmma trapphuset nedifrån och uppåt, presenterades även för driftfall 1 och anses vara en metod som bör övervägas i höga trapphus utan sektionering, dock undersök detta ej som ett metodval. Det som gör att det blir problematiskt att implementera avlastningen i trapphuset som beskrivs i rapporten är att luftflödet skulle motverka trycksättningen vid händelse av brand.

Kombination av att ställa in dörrstängarna och utbyte av dörrar som beskrivs i driftfall 1 rekommenderas även för driftfall 2. Åtgärden innebär att utrymmande ej behöver arbeta mot ett mottryck och deras möjligheter till att utrymma vid händelse av brand ökar. Nackdelar som att dörrar ej kan stängas, ej är fullständigt täta måste utredas vidare för att säkerställa funktionen.

Installation av backspjäll i trapphuset, vilket undersöktes i avsnitt 10.1, visade sig jämna ut tryckskillnaderna tillräckligt mycket för att utrymmande ska kunna öppna dörrarna till trapphuset. Åtgärder med att både brandgasspjäll på all frånluft och installation av backspjäll visade på att det fanns en risk för att eliminera allt övertryck i trapphuset vilket ej är önskvärt eftersom det då finns en större risk för brand- och brandgasspridning. Enbart brandgasspjäll på all frånluft samt tilluften i brandrummet minskade tryckskillnaden till trapphuset jämfört med att frånluften ej haft brandgasspjäll dock var tryckskillnaden fortfarande oacceptabelt hög i toppen av trapphuset och för låg i botten av trapphuset. Trots att metoden med att ha brandgasspjäll på all frånluft inte löste problemet fullt ut anses metoden vara att rekommendera. Vidare analyser samt kombinationer av andra metoder som exempelvis installation av alternativa dörrar bör undersökas. Denna vidare analys av kombination av dörrar och styrning av spjäll kommer ej genomföras i denna rapport.

Problematiken med att tryckskillnaden mellan trapphuset och brandutsatt våningsplan nästan helt elimineras kommer att uppkomma. I början av brandförloppet, innan branden har byggt upp ett tryck kommer det vara ett övertryck i trapphuset och om branden får växa kommer den att skapa ett tryck som är mycket större än det trycket som övertrycksfläkten genererar. Exakt tidpunkt för denna växling är svår att förutse och därför har fokus legat på de relativa tryckskillnaderna i toppen och i botten av trapphuset. Det som kan ske när det inte finns en tryckskillnad mellan trapphuset och anslutande våningsplan är att brand- och brandgasspridning kan ske lättare då det ej finns ett övertryck som trycker emot.

11. Åtgärd - Driftfall 3 - Från- och tilluften stänger vid brand

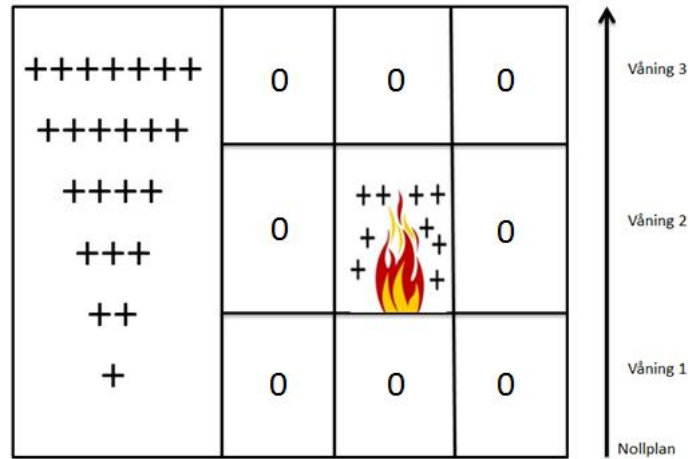
Det tredje driftfalldriftfallet som kan förekomma i byggnader vid händelse av brand är att både till- och frånluftsfläkten stänger. I brandrummet stänger brandgasspjällen både från- och tilluften. I tabell 37 beskrivs förutsättningarna för driftfall 3 vid normaldrift samt vid händelse av brand.

Tabell 37 Förutsättningar för driftfall 3

Driftfall 3	Övertrycksfläkt i trapphuset	Frånluftsfläkt	Tilluftsfläkt	Brandgasspjäll i brandrummet.
I normaldrift	Avstängd	I drift	I drift	Öppna
Vid brand	I drift	Avstängd	Avstängd	Stängda

Genom att stänga både till- och frånluftsfläkten skapas inte ett lika stort undertryck i ej brandutsatta rum som det görs om endast frånluftsfläkten är i drift. Driftfallet innebär dock att det föreligger en större risk att brand- och brandgasspridning sker genom tilluften. Frånlufts-systemet som är i drift i driftfall 1 innebär att systemet är mer robust än om det varit avstängt. Detta beror på att brandtrycket för spridning är mycket lägre för tilluften än för frånluften och därför sker spridningen för genom tilluften. I driftfall 1 var frånluften igång och kunde på så vis transportera ut viss del av brandgaserna som bidrog till ett ökat tryck på grund av expansionen (Jensen 2002). Fördelen med att stänga av frånluften om tilluften stängs av är att trycket inte ökar mellan trapphusen och rummen. I följande kapitel kommer installation av backspjäll undersökas. Brandgasspjäll på frånluft kommer ej att undersökas då inga fläktar är i drift. Rekommendationen med alternativa dörrar och reglering av dörrstängare som analyserades i driftfall 1 i avsnitt 9.5, rekommenderas att överväga för samtliga driftfall och kommer ej att analyseras vidare för driftfall 3.

PFS-beräkningarna vilket redovisas i figur 27 och 28 visar på att de relativa tryckskillnaderna fortfarande är för stora för att vara tillfredställande. Figur 26 illustrerar hur tryckskillnaderna i byggnaden anses kunna se ut vid händelse av brand om både från- och tilluftsfläkten stängs.



Figur 26 Schematisk skiss av tryckprofilen i byggnaden

I tabell 38 sammanfattas de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och anslutande våningar. De relativa tryckskillnaderna kan även läsas av i figur 27 och 28. Ett förväntat övertryck på 340 Pa kan förväntas i toppen på trapphuset vilket överskrider de 80 Pa som rekommenderas för att utrymmande ska orka öppna dörrar med rimlig kraft. Åtgärder måste vidtas för att minska de relativa tryckskillnaderna mellan trapphuset och våningsplanen.

Tabell 328 Sammanfattning tryckskillnader i trapphuset och anslutande våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
193 Pa	20,3 Pa	340,3 Pa

" läckage våning 1 "

1 leak : h : tq 1 0 1

- 193 . 0 Pa 16 . 8 Pa
98 . 241 l / s

" läckage våning 2 "

2 leak : h : tq 2 0 1

- 20 . 3 Pa 269 . 6 Pa
31 . 868 l / s

" läckage våning 3 "

3 leak : h : tq 3 0 1

- 340 . 3 Pa 29 . 7 Pa
130 . 44 l / s

Figur 27 Tryckskillnaderna i PFS

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50.50 fleakb=t,50.10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1.0 NON=o,0.1 BGS=o,1,324259.150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"BGS=Brandgasspjäll"
"KIBS=BAckspjäll"

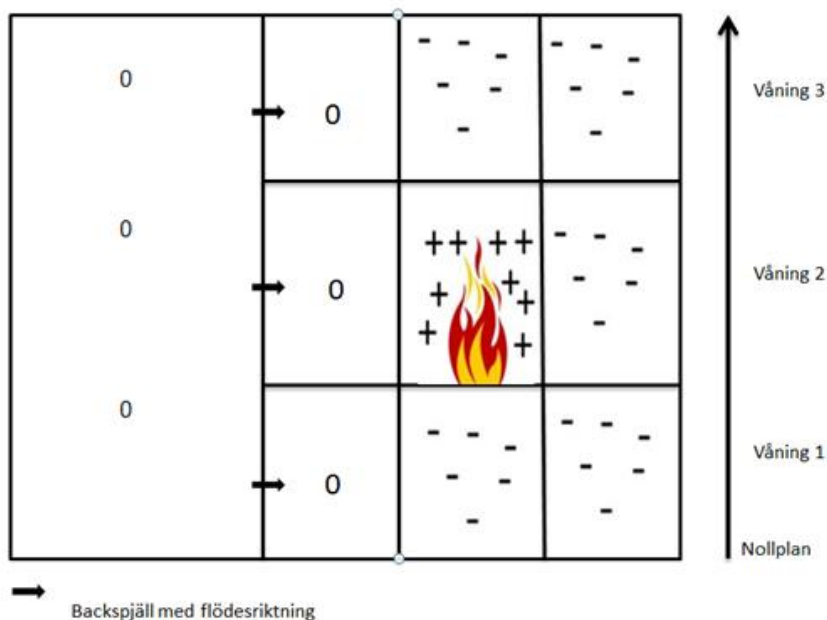
```



Figur 28 Simulering i PFS

11.1 Åtgärd - Backspjäll i trapphus

Metoden med backspjäll i trapphus undersöktes för driftfall 1 och 2, se avsnitt 9.2 och 10.1, och ansågs vara en framgångsrik åtgärd och kommer även undersökas för driftfall 3. Beskrivningen och analysen av backspjällen som fördes i driftfall 1 och delvis i driftfall 2, kommer ej föras här, utan för djupare förståelse se avsnitt 9.2 samt bilaga C.



Figur 29 Schematisk skiss av tryckprofilen i byggnaden

I figur 29 illustreras hur rummen närmast trapphuset med insatta backspjäll är tryckutjämnade i förhållande till resterande rum. Det bör dock noteras att fullständig tryckutjämnning ej kan förväntas och ej är önskvärt.

Tabell 339 Sammanfattning av tryckskillnader i trapphuset och anslutande våningsplan

Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 1	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 2	Tryckskillnaden i trapphuset mot Vån 3
54,2 Pa	0,7 Pa	96,2 Pa

I figur 31 redovisas det fullständiga systemet i PFS och ett urklipp av läckaget vid våningsplanen presenteras i figur 30. Det första trycket i figur 30 är tryckskillnaden mellan trapphuset och våningsplanet, där ett negativt tryck innebär ett övertryck i trapphuset. Tabell 39 sammanfattar de relativa tryckskillnaderna i trapphuset i förhållande till anslutande våningsplan där ett positivt tryck indikerar ett övertryck i trapphuset. Rekommendationen på ett övertryck på 20 – 80 Pa överskrids trots installationen av backspjäll. Ett övertryck på 96,2 Pa kan förväntas.

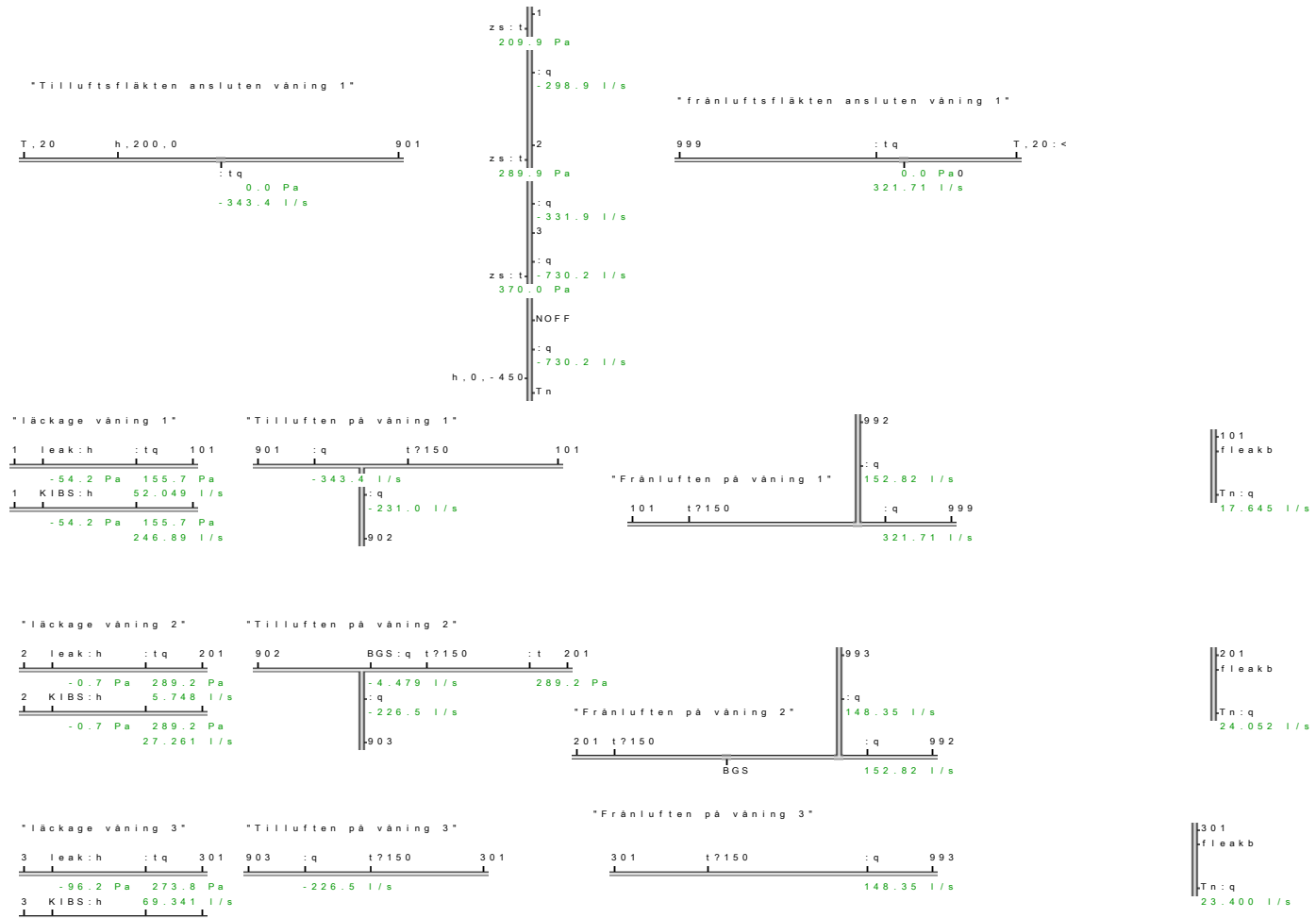
Det anses dock var så lite med tanken på hur många osäkerheter och förenklingar som genomförts i simuleringarna. Åtgärden bör heller ej förkastas då problemet möjligen kan åtgärdas med justering av spjällen eller öka antalet spjäll i trapphuset. Följande resonemang kommer ej undersökas vidare.

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=2,-6.8 Tn=T,20;< TFF1=h,1500;<q
set leakt,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=0,1,0 NON=0,0,1 BGS=0,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

Trix 3= brandläga
 KIBS=backspjäll
 BGS=Brandgasspjäll



Figur 30 Simulering i PFS

11.2 Sammanfattning driftfallåtgärder för driftfall 3

Ett av problemen med driftfall 3 är att det är stor sannolikhet för brandgasspridning via ventilationen. Det som talar för styrningen av ventilationen i driftfall 3, är att stora undertryck som uppstår i driftfall 1 undviks.

Installationen av backspjällen skapar en relativt bra tryckbalans i byggnaden. Ett övertryck på 96 Pa är fortfarande ett för högt värde dock finns det många osäkerheter i simuleringen som exempelvis ett förenklat system och metoden bör därför inte förkastas. Det bör även finnas möjlighet till att ställa in backspjällen samt öka antalet.

Det bör dock noteras att liknande analys som gjordes av kombination av metoder för driftfall 1, i avsnitt 9.5, kan även antas för driftfall 3. Det som kommer skilja är inställningarna. Exempelvis hur stor tryckavlastning som behövs samt trögheten för dörrstängarna. Kombination av att ställa in dörrstängarna samt installation av backspjäll anses som möjliga metoder. En kombination av de två metoderna innebär att problemet med att öppna samt stänga dörrar kan begränsas. Det löser dock inte problemet med brand- och brandgasspridning i byggnaden. Utbytet av dörrar med skjutfunktion eller tryckavlastning anses även kunna kombineras med backspjäll. Kombinationen skulle innebära en högre robusthet och en extra säkerhetsåtgärd i fall någon av åtgärderna skulle felfunkera under drift.

12. Resultat

Driftfall 1 innebar att tilluftsfläkten stängde vid händelse av brand. Metoden har sina för- och nackdelar. Systemet är mer robust ur ett brand- och brandspridningsperspektiv än om endast tilluftsfläkten varit i drift dock skapas ett undertryck i de rum som ej är utsatta för brand vilket bidrog till obalans i tryckprofilen i byggnaden. Det undersöktes möjligheter med att tryckutjämna våningarna och trapphusen, exempelvis genom att installera backspjäll i trapphuset. Backspjällen ska ha flödesriktning utifrån trapphuset och på så vis undvika att brandgaser sprider sig till trapphuset. Det finns idag lämpliga backspjäll som är certifierade, dock har backspjäll aldrig installerats i trapphus för att syfta som tryckavlastande. Metoden måste därför undersökas djupare samt testas innan metoden kan verifieras. Ingen av de förslagna metoderna löste problemet för driftfall 1. Följande styrning av fläktar rekommenderas därför inte.

Driftfall 2, innebar att varken till- eller frånluftsfläktarna stängde vid händelse av brand. Utifrån teorin samt lärdomarna från de tidigare driftfallen anses detta vara den mest lämpliga driftfallet. Slutsatsen styrks ytterligare av diskussion med sakkunniga inom branschen (Jensen, personlig kommunikation, 2013-10-20 och 2014-02-14). Driftfallet innebär dock ej i sig själv en lösning på problemet med att dörrar ej kan öppnas samt stängas i trapphuset vid övertrycksättning Installation av backspjäll i trapphuset innebär att en tryckutjämning sker och simuleringarna genomförda i avsnitt 10.1 styrker hypotesen om att åtgärden kan vara en lösning på problemet med för stora tryckskillnader. Fläktar som är i drift vid händelse av brand samtidigt som det finns backspjäll installerade trapphuset är en metod som rekommenderas

I driftfall 3, stänger både till- och frånluftsfläktarna vid händelse av brand. Problemet med undertryck i ej brandutsatta rum, uppkommer inte som i driftfall 1, dock uppstår det fortfarande tryckskillnader. Systemet är dock inte lika robust som i exemplet med frånluften i drift. Då brandgasspridning sker lättare via tilluften vilket innebär en större risk för att brand- och brandgaser sprider sig till ej brandutsatta våningar och rum. Liknande problematik uppstår då till- och frånluftsfläkten fortsätter att vara i drift vilket presenteras i driftfall 2.

Simuleringarna visade på att installation av backspjäll i trapphuset inte löser problemet fullt ut, dock anses värdena ligga så nära de riktvärden som finns. Simuleringen visar på att ett övertryck på 96 Pa, jämfört med rekommendationerna på 80 Pa.

Metoden kan ej förkastas men anses ej vara lika bra som lösningen som presenteras i driftfall 2.

13. Diskussion

Nedan diskuteras arbetsgången, rapportens validitet och reliabilitet, felkällor samt förslag på framtida studier.

13.1 Arbetsgången

Metoden för rapporten att först genomföra en litteraturstudie för att sedan jämföra teorier med simuleringar samt logiska resonemang anses bidra till en hög validitet samt reliabilitet. För att säkerställa slutsatsernas reliabilitet än mer samt stärka analyserna bör samtliga metoder som diskuterats simuleras i PFS och jämföras med möjliga praktiska försök som redan är genomförda av andra. På grund av rapportens omfattning samt stor fokus på litteraturstudie har denna jämförelse ej gjorts utöver de diskussioner med forskare som genomförts. Då rapporten bygger på vetenskapliga teorier, där mycket av teorin dessutom har testats praktiskt tidigare, vilket visar att slutsatser från litteraturstudien har varit relevanta. Genom att först genomföra en riskanalys kunde metoder värderas samt selekteras vilket ansågs bidra till en större förståelse för de problem som kan uppstå med olika system. Fördjupningen för varje driftfall bidrog sedan till en ännu djupare förståelse då åtgärderna bland annat studerades i PFS. Arbetsgången bidrog med en röd tråd i arbetet där varje del återkopplade till den förra vilket bidrog till stor kunskapsåterföring till författaren.

13.2 Litteraturstudien

Teorier inom ämnet är väldigt begränsat, dock är tillgängliga källor relevanta och det har varit enkelt att finna tillförlitlig litteratur. Det som begränsar ämnet är att de rapporter samt forskningsprojekt som är genomförda är framtagna av få människor. Stor del av teorin bygger på litteratur samt personliga diskussioner med professor Lars Jensen vid Lunds Tekniska Högskola. Annan litteratur har även använts, det bör dock noteras att mycket av den alternativa litteraturen även bygger på rapporter av Lars Jensen.

Teoriavsnittet anses ha hög reliabilitet då teorin har diskuterats med forskare inom ämnet samt jämförts med logiska resonemang. Teorierna styrks även av observationer gjorda i verkligheten i form av arbetsuppgifter ej kopplade till rapporten som författaren själv har upplevt.

Jämförelser mellan olika kärnkraftverk har även genomförts. Svårigheter att få tag på information från de olika verken har inneburit en begränsning. Rapportens reliabilitet minskar ej på grund av att avsnittet som jämför olika kärnkraftverk är begränsat, dock föreligger det en risk att möjliga slutsatser samt lösningar ej lyfts fram. Metoderna som presenterats från olika kärnkraftverk som beskrev dörrar och dörrstängare har det ej genomförts någon beräkning på utan rekommenderas som framtida studier. En del av åtgärder har dock undersökts på de olika driftfallen och har då värderats utifrån information från de olika verken samt diskussioner med personer med erfarenheter från användandet av metoderna.

Författaren anser att litteraturstudien är den del av rapporten som har varit mest lärorikt samt har högst reliabilitet. Denna slutsats grundar sig på faktumet att teorier som undersökts har testats praktiskt samt att de skrifter som studerats i litteraturstudien har granskats på en vetenskaplig nivå och anses vara källkritisk.

13.3 Riskanalys – identifiering av åtgärder

Efter problemformuleringen genomfördes en *What-if- analysis*, vilket är en typ av riskanalys. Syftet med analysen var att identifiera alternativa metoder för att bland annat styra ventilationen. Analysen skulle ligga som grund för beslutet huruvida åtgärden skulle undersökas vidare i kapitel som hanterade de tre driftfallen. De tre driftfallen som presenteras i problemformuleringen testas samtliga med olika kompletterande metoder i riskanalysen. Slutsatsen från riskanalysen är att metoden som innebär att fläktarna är i drift vid händelse av brand är den styrning som kommer fungera bäst. Styrningen som innebär att fläktar är i drift även vid händelse av brand undersöks vidare i kapitel 10 som driftfall 2.

De kompletterande metoderna som undersöks för varje driftfall utvärderades med hjälp av litteraturstudien och det är endast teoretiska resonemang som används för att avgöra huruvida de ska undersökas vidare eller ej. Utifrån riskanalysen bedömer författaren att installation av backspjäll i trapphuset är en metod som ska undersökas för samtliga driftfall. Metoden som innebär styrning av spjäll, exempelvis att samtliga spjäll för frånluften stänger, är även den en metod som bör undersökas vidare. Denna selektering anses vara bra eftersom litteraturstudien anses vara tillförlitlig. Selektionen medför dessutom att fokus på de åtgärder som anses ha störst sannolikhet att vara framgångsrika kan utvärderas djupare. Genom att genomföra en riskanalys och ställa frågor, bidrog arbetssättet även till att författaren fått en djupare förståelse för händelseförloppet i ett ventilationssystem vid händelse av brand.

Metoden att först genomföra en riskanalys för att sedan analysera driftfallen djupare, anser författaren har varit en framgångsfaktor för att skapa förståelse samt identifiera möjliga metoder som andra verk eller litteratur lyft fram. Metoderna som är förslagna måste testas och analyseras vidare exempel med praktiska experiment för att säkerställa funktion. Riskanalysen syftade endast till se identifiera åtgärder samt selektera bort de metoder som troligen ej skulle bidra till att lösa problemet.

13.4 Analys av driftfall

Tre driftfall har undersökts i rapporten där ett antal olika åtgärder har undersökts för att lösa den problematik som varje driftfall innebär. Åtgärderna som undersöktes var liknande för samtliga driftfall och i fallet att någon åtgärd ej ansågs fungera så undersöktes den ej vidare i nästa driftfall. Valet av driftfall gjordes utefter kärnkraftverket Ringhals ventilationssystem. De tre driftfallen är problem som observerats på Ringhals och inga andra kärnkraftverks system eller alternativa ventilationssystem undersöktes som ett driftfall, detta på grund av begränsningen av rapportens storlek. Syftet med att endast utgå från ett verks ventilationssystem var att få en röd tråd genom arbetet, flera andra driftfall skulle även vara väsentliga att undersökas, vilket då hade inneburit att varje driftfall ej undersökts lika djupt. Valet av de åtgärder som undersöktes var i en kombination av erfarenheter från andra kärnkraftverk, litteraturen samt författarens egna teorier, exempelvis installation av backspjäll i trapphusen. Genom att undersöka andra kärnkraftverks lösningar kunde alternativa metoder som ej uppmärksammats i litteraturstudien undersökas, exempelvis vända på slagriktningen på dörrarna. Det anses även att beprövade metoder ger en större tillförlitlighet än endast teoretiska resonemang. Litteraturstudien bygger på forskning som är genomförd vilket innebär att metoderna har utvärderats och det är möjligt att beakta metodernas för- och nackdelar. Författarens egna teorier anses svåra att bedöma allmängiltigheten på då de ej utvärderats genom tester eller beräkningar. Dock ansågs det viktigt för författarens egen utveckling.

Summeringen av resultatet för de tre driftfallen resulterade i att de åtgärder som rekommenderas utgår från att både till- och frånluftsfläkten ska fortsätta att vara i drift vid händelse av brand ska. Allmänt rekommenderas det att ställa in dörrstängare, samt värdera huruvida dörrarnas slagriktning ska ändras. Då det under vintertid kan uppstå problem med för höga tryck vid normaldrift och trapphusen ej är sektionerade, rekommenderas det att undersöka möjligheten att en fläkt i botten på trapphusen installeras så trapphuset kan genomströmmas, nerifrån och upp. En avluftningsarea i den övre delen av trapphuset måste även installeras som kan öppnas vid låga utomhustemperaturer. Det bör även tilläggas att metoden kan komma att begränsas till att endast fungera i normalfall och ej vid händelse av brand.

Backspjäll i trapphus till intilliggande utrymmen bör undersökas vidare vilket nämns ovan. Det anses som en framgångsrik metod utifrån teorierna samt spjällens goda förmåga att motstå brand- och brandgaser. I kapitel 11 genomfördes en simulering som i driftfall 3 med backspjäll installerat i trapphuset med flödesriktning utifrån trapphuset. Strikt sett från simuleringen anses metoden ej vara att rekommendera dock anses osäkerheterna med PFS samt den indata som används i simuleringarna vara så stora att metoden ej förkastas.

I vissa av Englands kärnkraftverk har fartygsdörrar installerats vilket anses vara en fungerande metod. Då dörrarna ej är utformade för trapphus i vanliga byggnader bör det undersökas om de kärnkraftverk som använder dörrarna har upplevt några problem med dem. Kärnkraftverket Forsmark undersöker lösningen och utifrån deras slutsats bör denna metod även övervägas att vara en möjlig lösning till de för höga tryckskillnaderna.

13.5 PFS

PFS är ett program med ett antal begränsningar, se avsnitt 2.3. På grund av programmets begränsningar samt arbetets storlek fick ett antal förenklingar genomföras vid beräkningarna. Ett fullständigt ventilationssystem som finns i höga byggnader är för komplext samt stort för att beskrivas i PFS. Ett nerskalat och förenklat system beskrevs därför. Flöden för bland annat fläktarna har därför anpassats efter storleken på det nerskalade systemet. PFS användes bland annat till att få en uppfattning om huruvida det fiktiva systemet som rapporten utgått från fungerade eller ej, sett utifrån tryckuppbyggnad. Iakttagelsen jämfördes sedan med de åtgärder som syftade till att komma till rätta med de problem som systemet hade. I bilaga A presenteras de värden som antagits för bland annat backspjällen i programmet. Värdena är tagna från riktiga backspjäll sedan anpassade till systemet vilket anser ge en relativt nära bild av hur det ser ut i verkligheten. PFS ger en fingervisning och har fungerat väldigt bra för att avgöra om metodens påverkan på ventilationssystemet.

Valet att använda PFS som modell för att värdera de förslagna åtgärderna valdes på grund av att programmet idag används aktivt som beräkningsmodell av konsulter för att värdera ventilationssystem. Författaren eftersträvade även djupare kunskap i någon form av beräkningsmodell för ventilationssystem och valde därför PFS då följande program introducerats under studierna på LTH.

13.6 Felkällor

Ett antal felkällor med arbetet har identifierats. Genom att jämföra resultatet mot genomförda försök samt utföra praktiska tester hade arbetet fått högre validitet. Resonemang har förts i rapporten som idag ej har litterärgrund eller som har testats praktiskt, vilket innebär att de ej kan anses vara en

tillförlitlig lösning dock ett möjligt område att undersöka vidare. Författaren är medveten om att arbetet haft högre validitet om fler paralleller med verkligheten eller genomförda tester genomförts, dock prioriterades ett bredare angreppssätt för att optimera den personliga utvecklingen.

Information från olika kärnkraftverk har varierat i stor utsträckning vilket innebär att vissa metoder eventuellt inte har identifierats. Hade samtliga kärnkraftverk som kontaktades delat med sig av sina metoder för att styra ventilationen säkerställa personers utrymning vid händelse av brand, är det troligt att fler åtgärdsförslag hade identifierats. Kärnkraftverken som intervjuades delade endast med sig av vissa fragment av deras åtgärder mot stora tryckskillnader, endast Oskarhamns kärnkraftverk beskrev utförligt hur det arbetar med problematiken som uppkommer vid trycksättning av trapphus.

14. Framtida studier

Det rekommenderas att Ringhals, i samarbete med Forsmark undersöker skjutdörrar som även finns på fartyg, oljeplattformar och vissa engelska kärnkraftverk för att se hur deras utformning kan möjliggöra en säker utrymning vid händelse av brand. Skjutdörrar anses vara möjliga att hantera för räddningspersonal och därför rekommenderas dörrarna undersöks och värderas vidare.

För att validera den eller de metoder som är mest effektiva bör en känslighetsstudie genomföras genom att göra fler beräkningar med en variation av parametrar samt praktiska experiment som nämnts innan. Det bör inte fokuseras helt på att brandgasspridning ej ska ske, utan att kritiska förhållanden ej ska uppstå. Om toxiciteten i brandgaserna, sikten genom brandgaserna samt temperaturerna på brandgaserna ej uppnår kritiska värden, kan brandgasspridning anses acceptabelt ur ett utrymningsperspektiv. Dessa värden har ej beaktats i rapporten, det har inte heller genomförts någon kontrollberäkning på huruvida kritiska förhållanden uppkommer eller ej. För att utrymning ska vara möjligt innebär det inte att de ventilationstekniska lösningarna helt ska förhindra brandgasspridning utan endast avsevärt försvåra brandgasspridning. I rapporten har ingen hänsyn till om och när kritiska förhållanden uppkommer. En intressant vidare studie hade varit att undersöka när- och om kritiska förhållanden uppkommer på förslagna åtgärder med mer avancerade beräkningsmodeller som exempelvis CFD. Denna studie skulle möjligen kunna styrka samt förkasta förslagna åtgärder i denna rapport.

Backspjäll i trapphuset syftar till att tryckavlasta samtidigt som de är motståndskraftiga mot brand, för att säkerställa funktionaliteten på åtgärden måste den undersökas vidare. Det bör bland annat undersökas hur många backspjäll som behövs, vilket flöde de ska ha, samt hur övertrycksfläkten ska regleras efter dem. Ingen av lösningarna som presenterats i arbetet har tagit hänsyn till ekonomiska aspekter, denna metod bör dock undersökas ur ett kostnad-nyttoperspektiv.

Förslag från kärnkraftverket Ringhals är att möjligen ta fram en dörr med avlastningsventil inbyggd i dörren som den som utrymmer manuellt kan aktivera. Ventilen ska tryckutjämna så dörren lätt kan öppnas samt stängas. En sådan lösning på dörr har ej studerats eller utvärderats i denna rapport dock liknar metoden den som beskrivs med backspjäll som syftar till att tryckavlasta. Det anses vara en metod precis som backspjäll i trapphus vara värt att studera samt undersöka i framtiden. Bäst validering av huruvida metoden fungerar är att undersöka detta med praktiska experiment.

En vidare studie på rapporten anses vara lämplig där är en fördjupning och utvärdering av förslagna åtgärder bör göras, exempelvis praktiskt testa backspjällen. Det skulle även vara intressant med en mer utvecklad riskanalys samt med en kompletterande sårbarhetsanalys för att utreda vilka parametrar i en byggnad som påverkar brand- och brandgasspridning.

15. Slutsatser

Trapphus övertrycksätts vid händelse av brand för att på så vis fungera som en utrymningsväg. Det är av stor vikt att brandcellsgränser är intakta så att brand- och brandgasspridning ej sker. Det är även viktigt att utrymmande lätta kan komma in i trapphuset även om det råder en tryckskillnad mellan trapphuset och anslutande rum. En dörr som inte går att öppna till trapphuset innebär en risk att personer inte kan utrymma, och en dörr som ej går att stänga innebär en risk för brand och brandgasspridning. Målet med rapporten var att studera problematiken som uppkommer av metoden med att övertrycksätta trapphus vid händelse av brand samt att identifiera åtgärder som löser problematiken. Rapporten avsåg även att sammanställa hur andra kärkraftverk hanterar problematiken som uppstår vid trycksättning av trapphus vid händelse av brand.

En generell slutsats i rapporten var att ventilationssystem där både till- och frånluftsfläktarna fortsätter vara i drift vid händelse av brand är att rekommendera. Metoden är relativt robust och en mer balanserad tryckprofil uppnås jämfört med andra regleringar av fläktar.

En rad åtgärder, vilka syftar till att lösa problematiken med att inte kunna öppna och stänga dörrar på grund av för stora tryckskillnader som uppkommer vid övertrycksättning av trapphus, identifierades i rapporten:

- Utbyte av dörrar, exempelvis installation av skjutdörrar eller dörrar med tryckavlastning.
- Installation av backspjäll i trapphuset till varje anslutande utrymme.
- Motverka den termiska tryckuppbyggnaden genom att ventiler trapphuset .
- Inställning av dörrar samt dörrstängare.
- Styrning av spjäll, både backspjäll och brandgasspjäll .

En del av de av ovanstående förslagen på åtgärder kan i sig själva vara fullständiga lösningar, dock inte samtliga. Inställning av exempelvis dörrstängare är endast ett komplement för att höja robustheten och det krävs en kompletterande åtgärd som exempelvis installation av backspjäll för att problematiken med övertrycksättning ska lösas.

16. Referenser

BFS 2011:26 (2012), *Regelsamling för byggande*, BBR 19. Karlskrona: Boverket.

Backvik, Bo, Bengtsson, Staffan, Fagergren, Tomas, Granberg, Olle & Jensen, Lars (1997). *En handanbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem*. Ventilationsbrandskydd i Stockholm AB. Stockholm.

Backvik, Bo, Bengtsson, Staffan, Fagergren, Tomas & Jensen, Lars (2008). *En handanbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem*. Ventilationsbrandskydd i Stockholm AB. Stockholm.

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

Brandskyddshandboken (2012). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3161, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet. Lund.

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

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

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

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

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

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

Jensen, Lars (1996). *Undersökning av rökspridning via ventilationssystem med PFS*. Rapport TABK-96/7035, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

Jensen, Lars (1998a). *Ventilationssystem uthållighet vid brand*. Rapport TABK-7046, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet.

Jensen, Lars (2002). *PFS program extension*. Rapport TABK-02/7066, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund. Jensen, Lars (200a). *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Rapport TABK-98/7050, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet.

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

Jensen, Lars (2005). *Trycksättning av trapphus för utrymning*. Rapport TVIT--05/7004, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.

- Jensen, Lars (2005a). *Trycksättning av trapphus med personbelastning*. Rapport TVIT--05/7003, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Jensen, Lars (2006). *Skydd mot rökspridning via ventilation med stoppade fläktar och förbigångar - riskbedömning och dimensionering*. Rapport TVIT--06/3003, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Jensen, Lars (2006a). *Brandgasspridning via ventilationssystem för flerrumsbrandceller*. Rapport TVIT--06/7007, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Jensen, Lars (2007). *Ventilationsbrandskydd med och utan spjäll*. Rapport TVIT--07/7016, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Jensen, Lars (2008). *Termisk trycksättning av trapphus för utrymning*. Rapport TVIT--08/7026, Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Jonsson, Fredric (2001), Utvärderingsprotokoll. *Brand i källare 2001-01-24* Räddningstjänsten i Jönköpings kommun.
- Karlsson, Björn., & Quintiere, James. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press
- Karlsson, Hans. (2012). *Omniboken i Processriskanalys*. Lunds Universitet. Lund
- Klote, John H. & Milke James A. (2002). *Principles of smoke management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- Ohlsson, Hans. Genberg, Håkan & Backvik, Bo (2003). *Brandskydd – en handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. AB Svensk Byggtjänst. Wallin & Dalholm Boktryckeri AB, Lund.
- Olsson, Nils (1999). *Brandgasspridning via ventilationssystem*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Rapport 5038, Lund.
- Stenlund, Håkan. (2001) *Skydd mot brand- och brandgasspridning i luftbehandlingssystem*. Rapport 5067, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. Lund.
- Svensson, Stefan. (2006). *Brandgasventilation*. Räddningsverket, Karlstad.

16.1 Personlig kommunikation

- Anne Niemi, Information Officer Teollisuuden Voima Oyj. Mejlkontakt 2014-04-09
- David Abbott, Deputy Fleet Fire Safety Manager, EDF Energy. Mejlkontakt 2014-10-14
- Jens Kihlman, Chef Klimatteknik, Ringhals AB. Mejlkontakt 2014-08-20
- Lars Jensen, Samtal. 2013-10-20- 2014-02-14
- Mikael Johansson, Kvalitetsingenjör/SK, OKG Aktiebolag. Mejlkontakt 2013-10-28
- Martin Larsson, ABC Ventilationsprodukter AB, mejlkontakt.
- Polina Gordonova, föreläsning 2012-01-30

Bilaga A

Nedan presenteras indata från PFS-beräkningarna för de tre olika driftfallen.

TF= Tilluftsfläkt. Den är även kopplad till sifferkoden 901-903

FF= Frånluftsfläkt. Vilken även är kopplad till sifferkoden 999, 992 och 993.

TFF= Övertrycksfläkt, är placerad i trapphuset.

Både till- och frånluftsfläkten är ihopkopplade med de tre våningsplanen som systemet beskriver. Våning 1, är benämnd som 101 samt som 1 i bland annat trapphuset.

Våning 2 är benämnd 201 samt 2 i trapphuset.

Våning 3 är benämnd 301 samt 3 i trapphuset.

Trapphuset där TFF är det endast ett flöde i vid trix=3 vilket innebär brandläge. Trapphuset är sammankopplat med våningsplanen vilket är utskrivet som 1, 2 och 3. Våningsplanen är sedan i sin tur sammankopplade med frånluften samt tilluften. 1 i trapphuset är sammankopplat med 1 på våningarna och samma sak gäller för 2 och 3.

Våningsplanen är sedan ihopkopplade, frånluften för sig och tilluften för sig. Exempelvis är kopplingen från våning 1 till 2 för tilluften, 901 till 902.

Zs beskriver höjden på våningsplanen. Dessa höjder stämmer ej med verkligheten utan är endast antagna värden.

NOFF och NON reglerar om flödet är öppet eller ej beroende på vilket trix simuleringen är inställd på.

Indata för fläktar är ej överensstämmande med fläktkurvorna på Ringhals utan är endast antagna värden som är anpassade för uppritat system.

Nedan redovisas framtagningen av värden på backspjällen samt brandgasspjällen.

Ett kanalflöde på 150 l/s på aktuella grenar i normalfallet där back- och brandgasspjäll sitter. Vill ha ett tryckfall under 1 Pa.

Från figur 32 läses dimensionen 250 mm av. Följande resultat ger följande area på spjällen:

$$A = 0.125^2 * \pi = 0.049 \text{ m}^2$$

Från figur 33, täthetsklass 2, tryckskillnad 1000 Pa, läses värdet 170 av.

$$170 \text{ l/s} * \text{m}^2 * 0,049 \text{ m}^2 = 8.33 \text{ l/s vid } 1000 \text{ Pa för täthetsklass 2.}$$

Motståndet beräknas sedan på följande vis

$$\frac{q}{\sqrt{P^{0,5}}} = k = \frac{8,33}{1000^{0,5}} = 0,263418$$

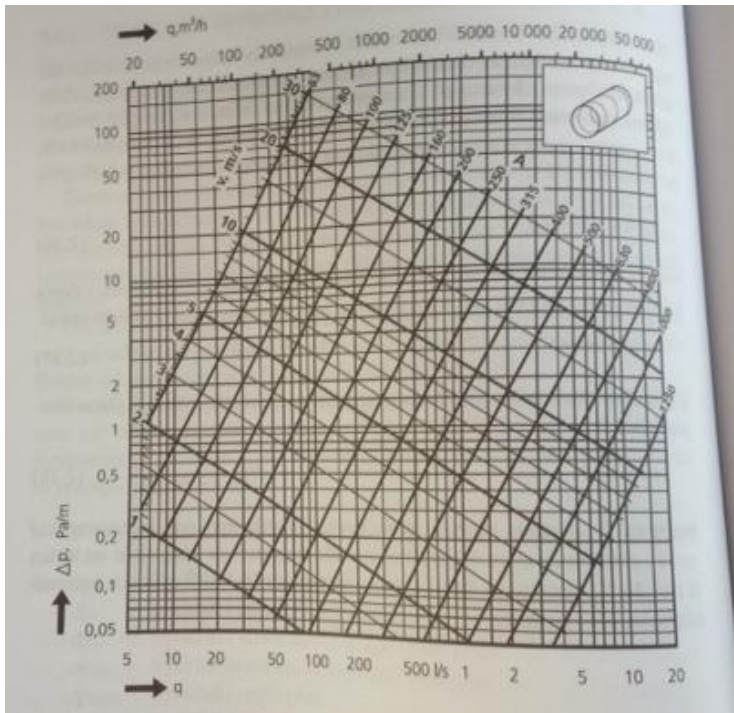
Följande värde jämförs sedan med flödet 150l/s:

$$\left(\frac{150}{0,263418}\right)^2 = 324259Pa$$

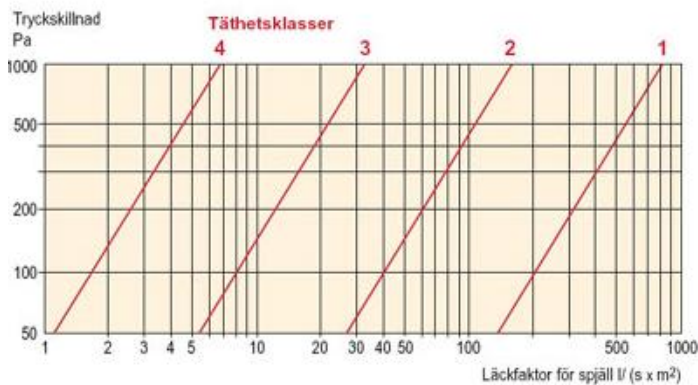
Backspjällen kommer därav skrivas som KIBS 20:150 324259:150 2 2, följande rad säger: KIBS med tryckfall 20 Pa i framriktningen och 324259 Pa i backriktningen för flödet 150 l/s och kvadratiska förluster i båda riktningarna.

Följande värde används även för brandgasspjällen

BGS= 0, 1, 324259,150



Figur 31 Dimensionera för cirkulära kanaler



Figur 32 Läckfaktor för stängt spjäll.

Bilaga B

Driftfall 1- Innan åtgärder

```

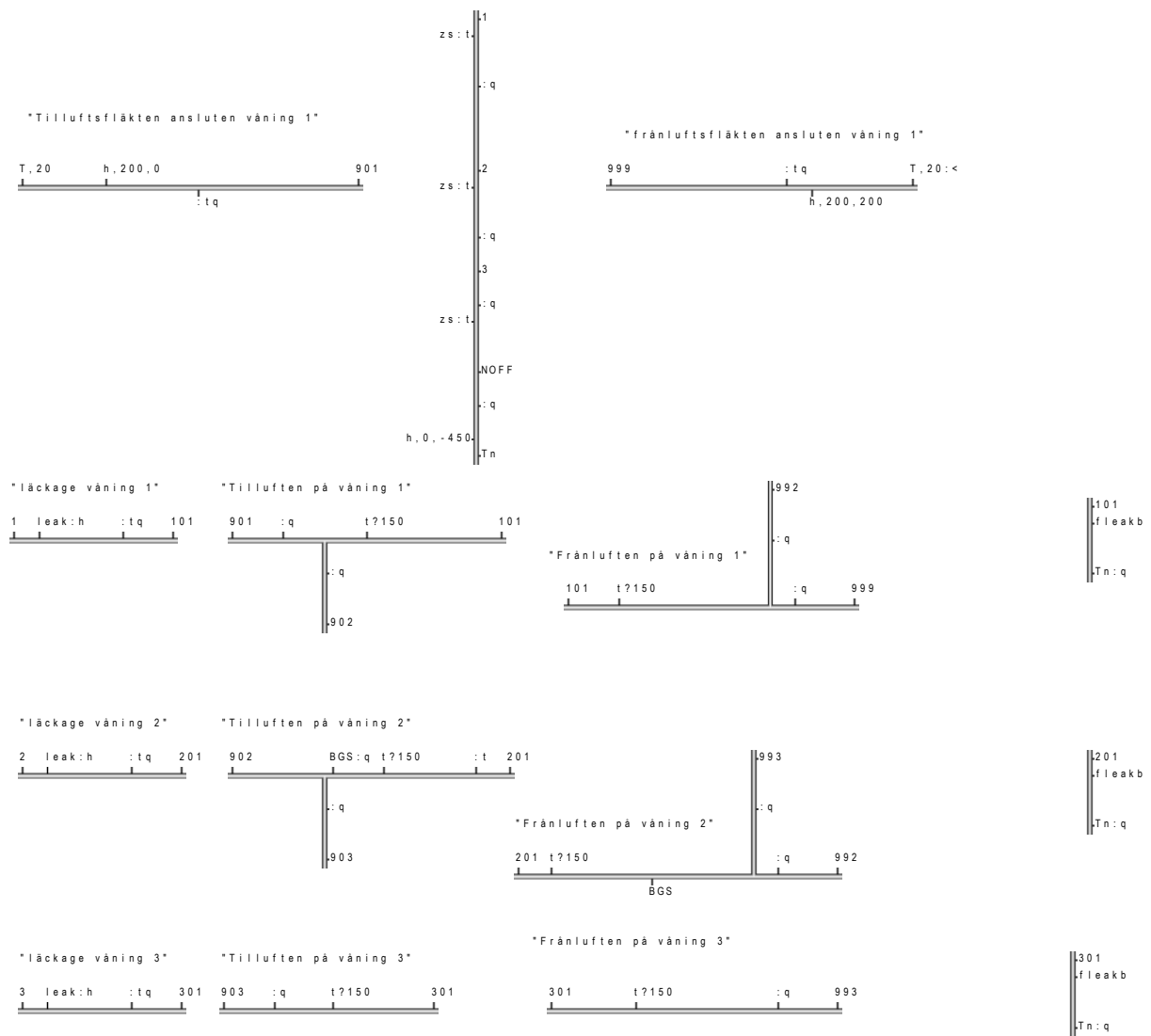
begin
flow I/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsaaa=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

"Trix 3= brandläga"
"BGS=Brandgasspjäll"
"KIBS=Backspjäll"

```



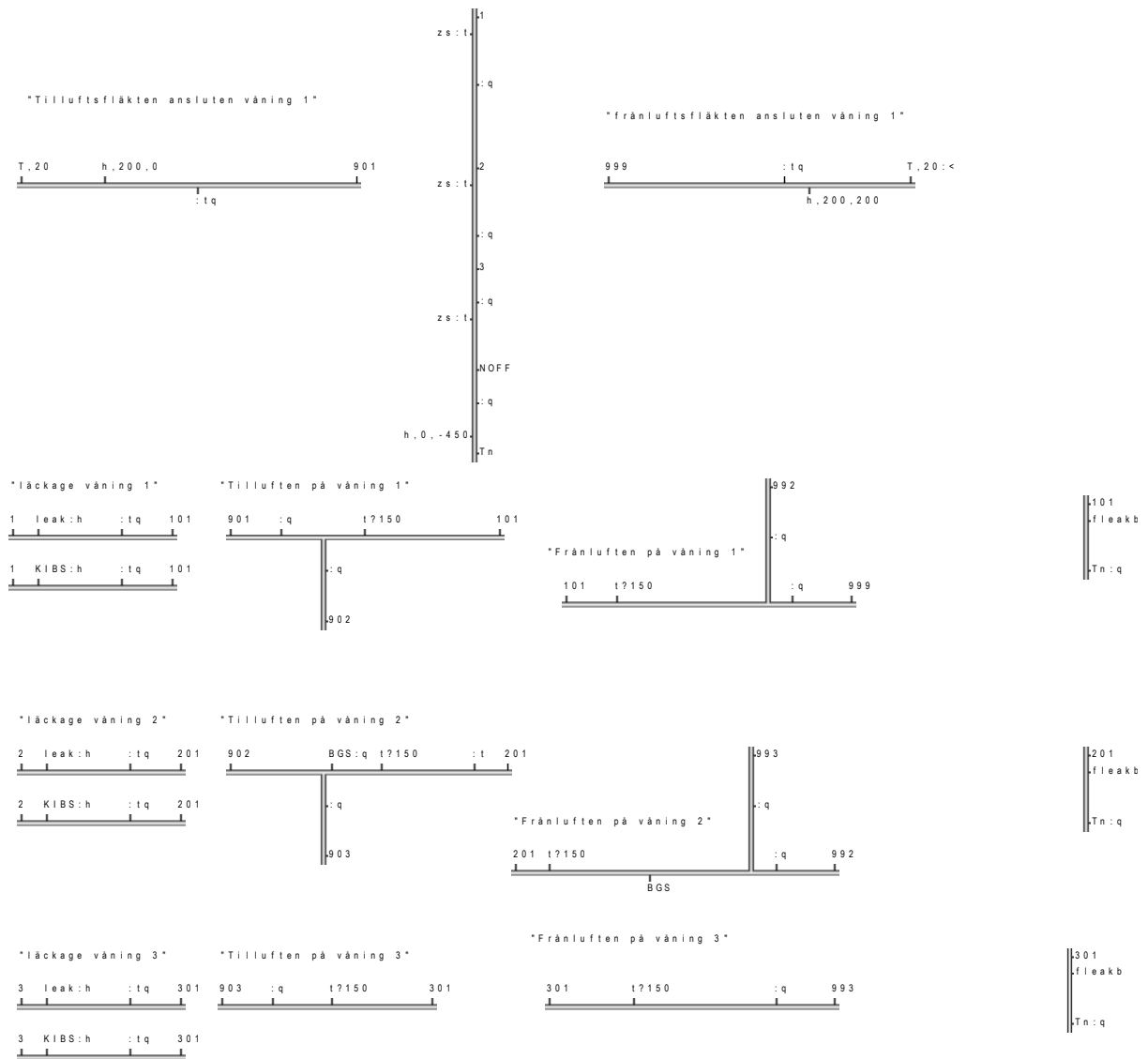
Driftfall 1- Backspjäll

```

begin
flow 1/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 ilmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFt=h,1500:<q
set leak=1,50,50 fleakb=1,50,10
set 40-d,400 31-d,310 NOFF=0,1,0 NON=0,0,1 BGS=0,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

Trix 3= brandläga
 KIBS=backspjäll
 BGS=Brandgasspjäll



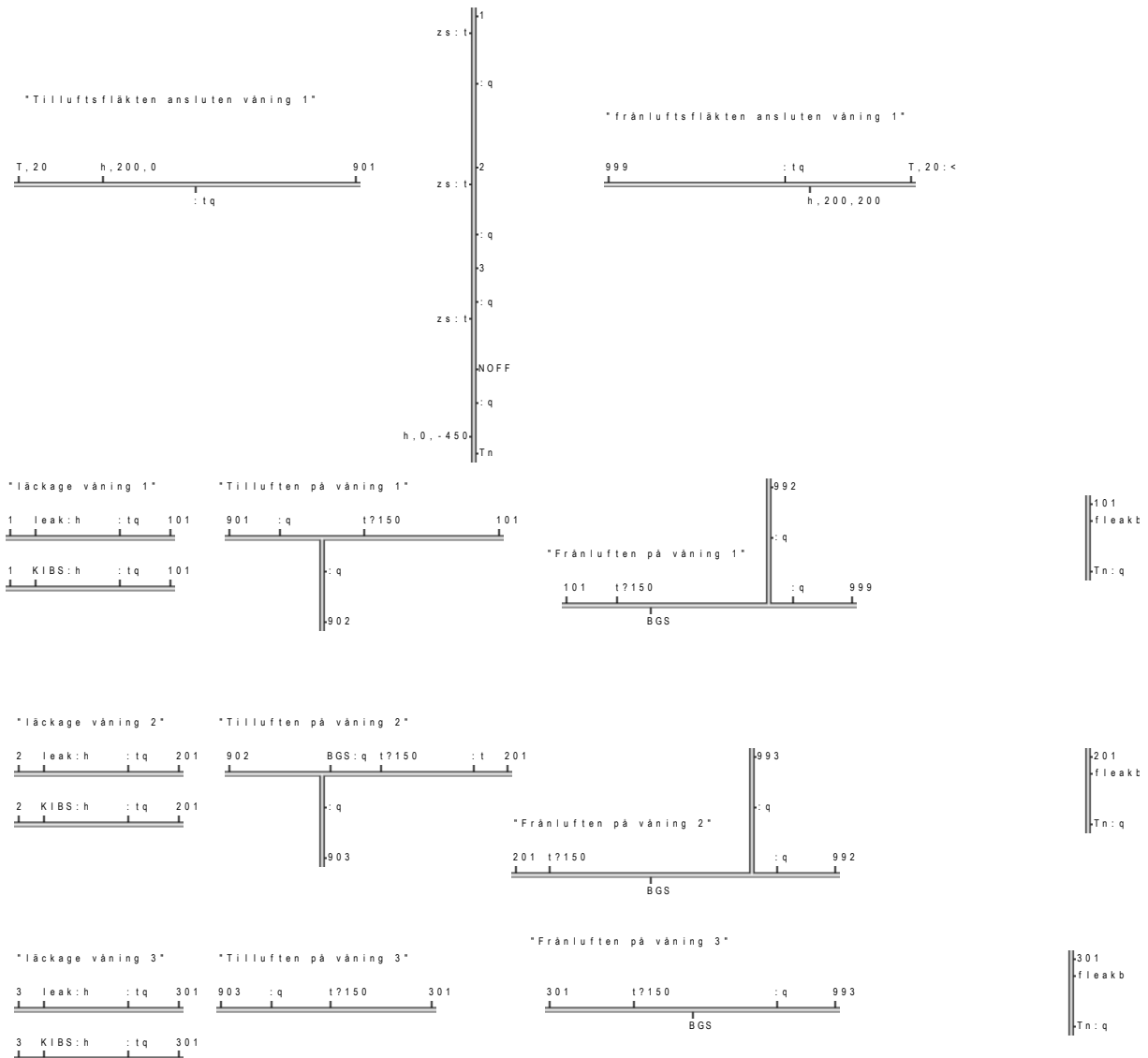
Driftfall 1- Backspjäll i kombination med brandgasspjällen stänger för samtlig frånluft

```

egin
low l/s
ressure Pa
ontrol duct=1 bend=0 dencase=1 itmax=99 trix=3 rsaaa=0.0001
et zs=z, -6.8 Tn=T, 20:< TFFt=h, 1500:<q
et leak=t, 50, 50 fleakb=t, 50, 10
et 40=d, 400 31=d, 310 NOFF=0, 1, 0 NON=0, 0, 1 BGS=0, 1, 324259, 150
symmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2
    
```

```

*Trix 3= brandläga*
*KIBS=backspjäll*
*BGS=Brandgasspjäll*
    
```

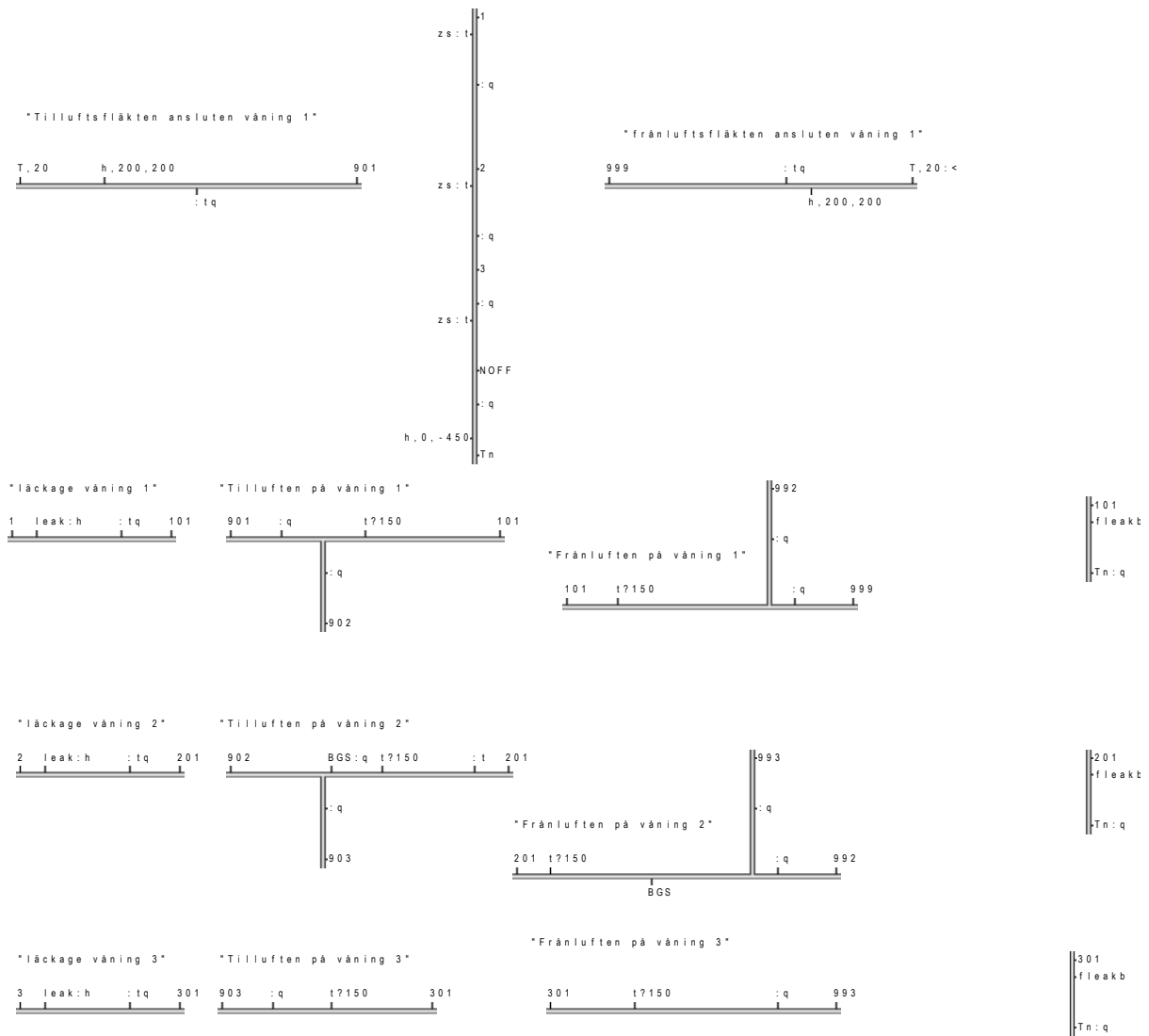


Driftfall 2- Innan åtgärder

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 ilmax=99 trix=3 rsae=0.0001      *Trix 3= brandläga*
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFI=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

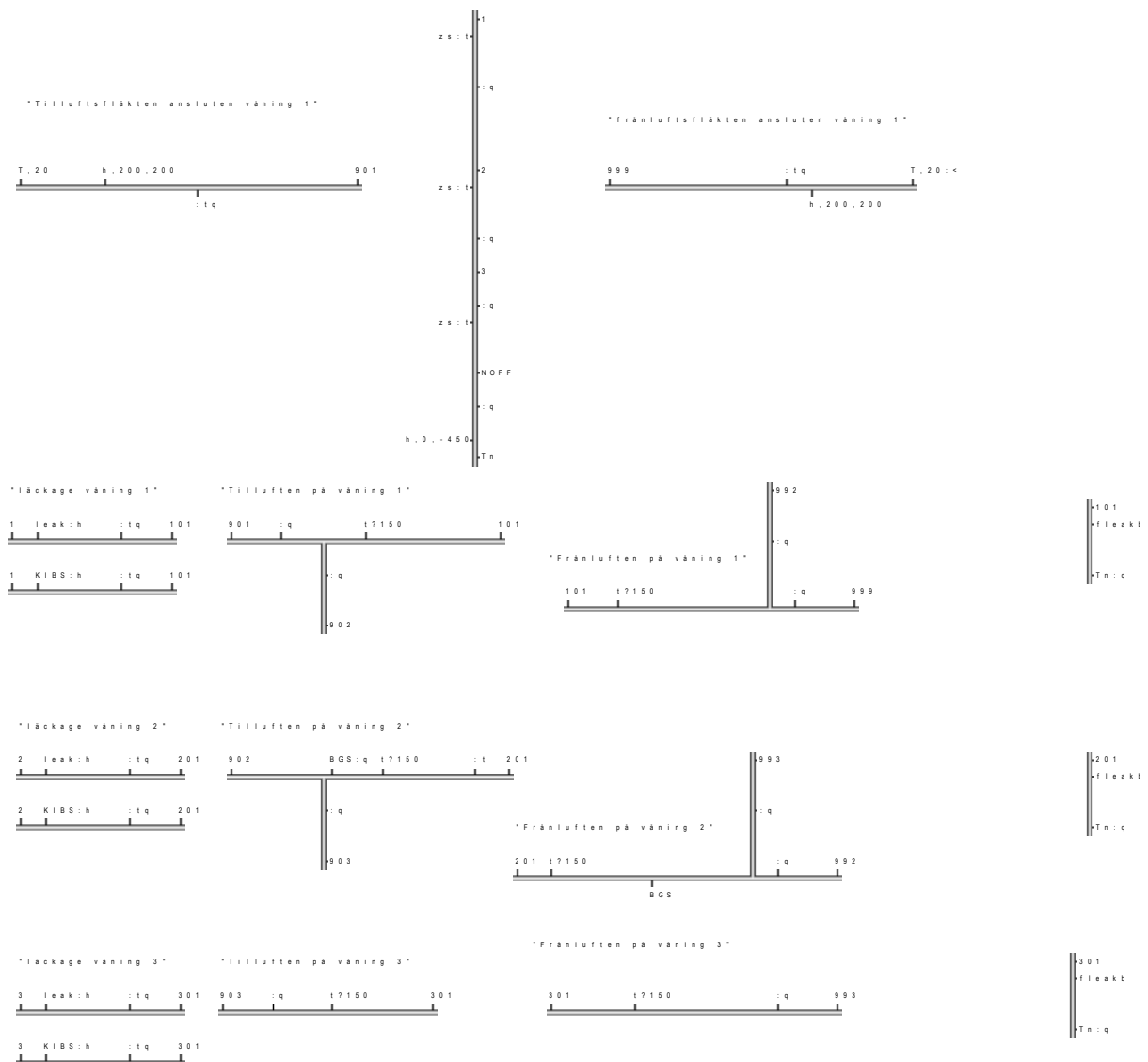


Driftfall 2- Backspjäll

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 litmax=99 trix=3 rsacc=0.0001      *Trix 3= brandläga*
set zsh=-6.8 Tn=T.20:k TFF=h.1500:kq                            *KIBS=backspjäll*
set leak=1.50.50 fileakb=1.50.10                                *BGS=Brandgasspjäll*
set l0=0.400 l1=0.310 NOFF=0.1.0 NON=0.0.1 BGS=0.1.324259.150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```



Driftfall 2- Brandgasspjäll på all frånluft

```

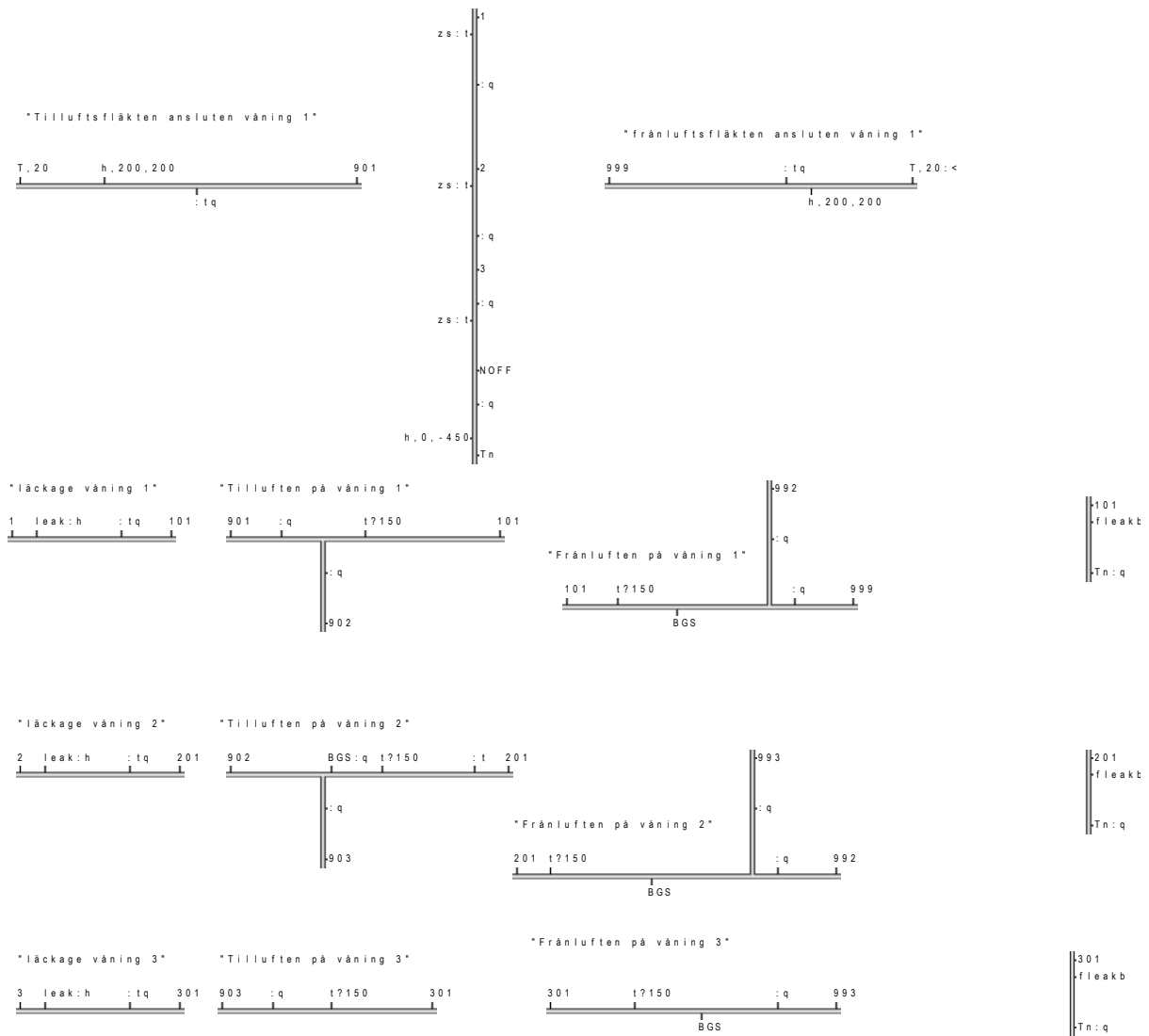
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 ilmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFI=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

*Trix 3= brandläga*
*KIBS=Backspjäll*
*BGS=Brandgasspjäll*

```



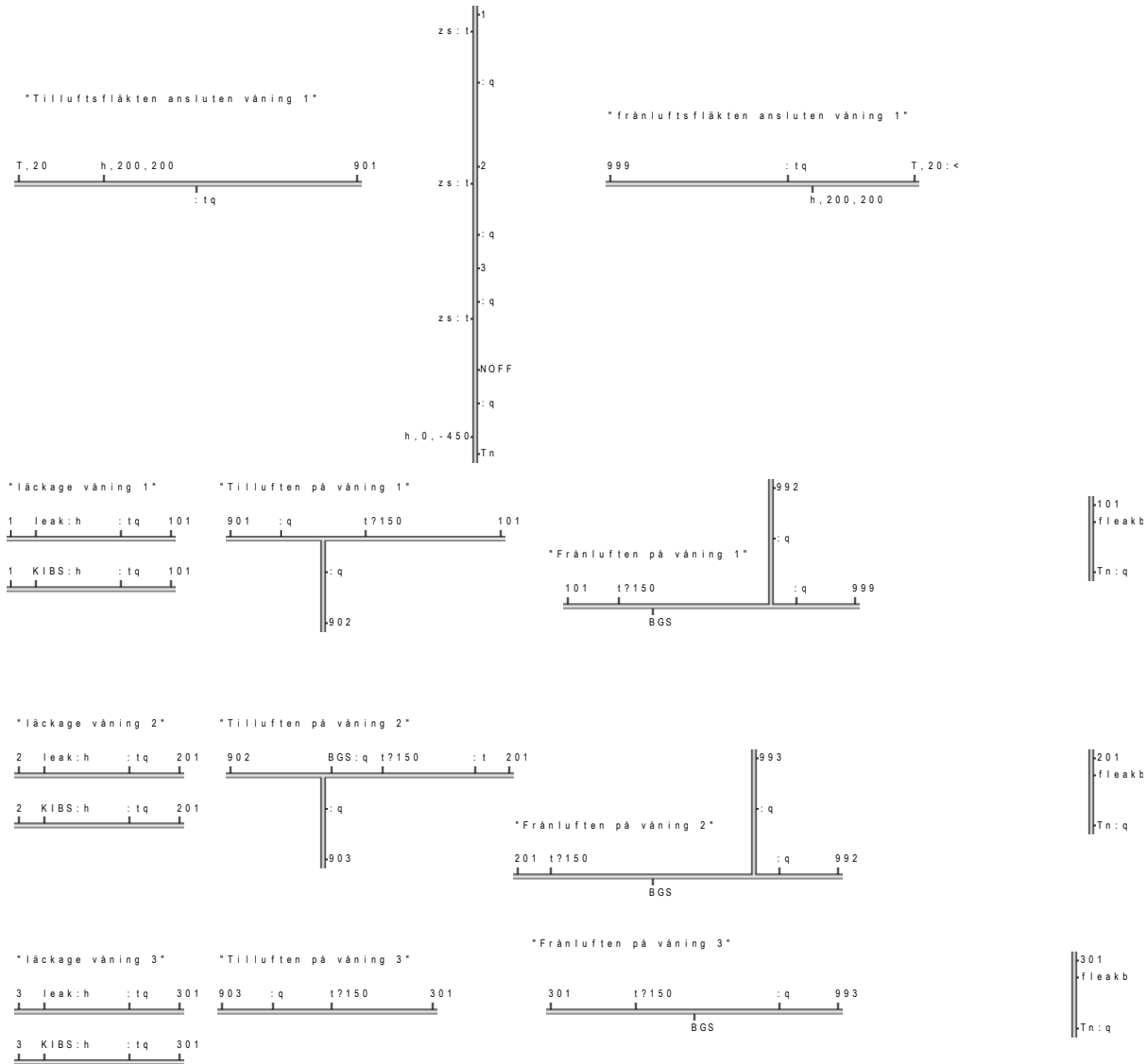
Driftfall 2- Backspjäll i kombination med brandgasspjäll på all frånluft

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 denscase=1 ilmax=99 trix=3 rsave=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFF1=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1.0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

Trix 3= brandläga
KIBS=backspjäll
BGS=Brandgasspjäll



Driftfall 3- Innan åtgärder

```

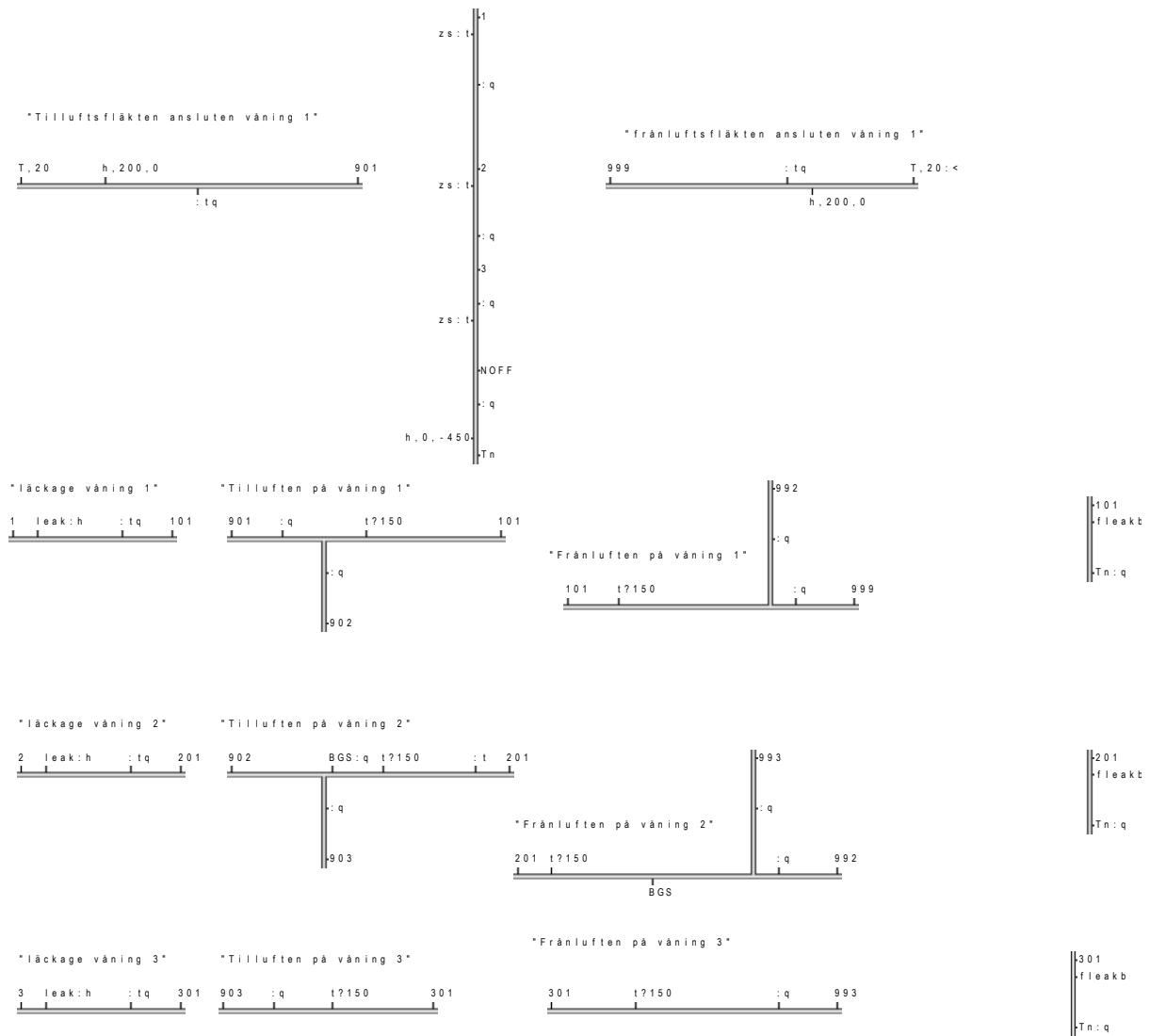
begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 lltmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFI=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

```

*Trix 3= brandläga*
*BGS=Brandgasspjäll*
*KIBS=BAckspjäll*

```



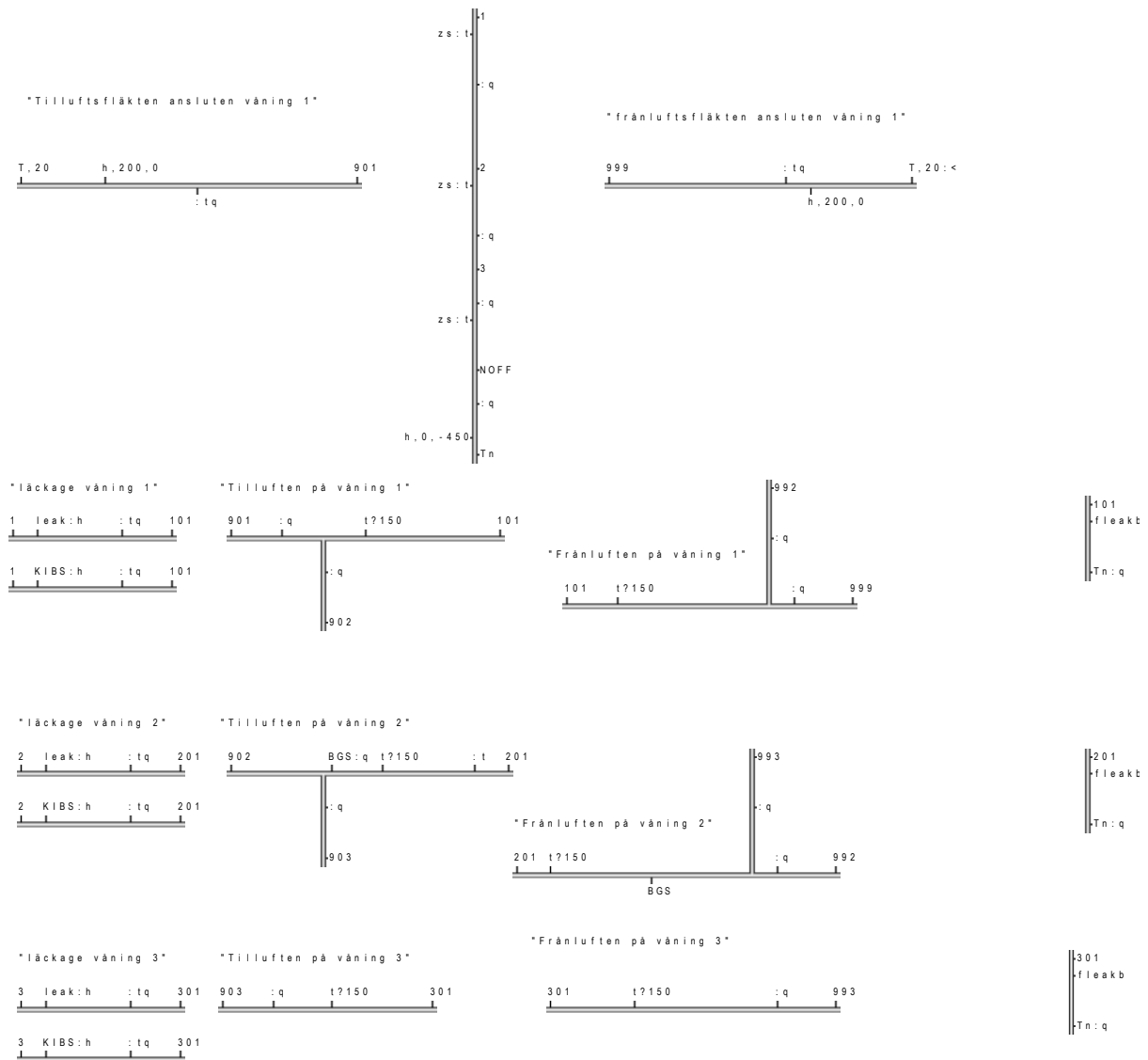
Driftfall 3- Backspjäll

```

begin
flow l/s
pressure Pa
control duct=1 bend=0 dencase=1 ilmax=99 trix=3 rsae=0.0001
set zs=z,-6.8 Tn=T,20:< TFFI=h,1500:<q
set leak=t,50,50 fleakb=t,50,10
set 40=d,400 31=d,310 NOFF=o,1,0 NON=o,0,1 BGS=o,1,324259,150
asymmetric KIBS 20:150 324259:150 2 2

```

Trix 3= brandläga
 KIBS=backspjäll
 BGS=Brandgasspjäll



Bilaga C

Brandbackspjället är certifierat av SP.

Hur brandbackspjället är testat.

- Protect 60 är testat enligt följande standarder och metoder: SS-EN 1751:1998 för bestämning av täthet/tryckklass ISO 5135 samt ISO 3741:2010 för bestämning av redovisade ljud och tryckfallsdata
- Brandberäkning utförd av Certifierad brandkonsult enligt vedertagna beräkningsunderlag och standardbrandkurvor i enlighet med Boverkets författningsbeskrivning BFS 2013:12 BBRAD 3
- Stresstest av backströmningsskydd > 10 000 cykler enligt fläktar i drift metod.
- Momentprov för backströmningsskydd
- EN 1366-2 för bestämning av brandteknisk klass på brandspjället, Brandspjället aktiveras inom 60 sekunder från start av brandtest och stängningstiden är < 1 sekund från utlöst smältbleck. Standardbrandkurva ISO 834 (945°C vid 60 minuter)