

# Säkerhetsanalys av brandbekämpning i kritiska utrymmen på Forsmark 1

---

Ester Veibäck



UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

# **Safety Analysis of Fire Extinguishing at a Swedish Nuclear Power Plant**

---

*Ester Veibäck*

In order to maintain a high safety level at a nuclear power plant it is important not only to measure the reliability of the components and systems of the plant, but also to investigate how the plant responds to human actions. One of the most hazardous situations in managing a power plant is fire occurring in critical areas. This study concerns the prospect of the local fire brigade to suppress a fire that has started in one of the most critical rooms for maintaining high reactor safety. The model created gives an indication on the possibilities of succeeding in suppressing a fire. In order to get a more reliable fire fighting the following advice are given:

- Let the fire brigade go rounds in the plant together with the personnel, during which recommended fire suppressing methods are determined to avoid long preparation time in an actual situation.
- Prepare rooms with two subsystems to make them partly with no voltage.
- Give the fire brigade better feedback from actual events on nuclear power plants.
- Education and training in suppressing fires in electrical equipment.

The probabilistic safety assessment strives to be as realistic as possible. Consequently this study recommends not giving credit for the manual fire fighting in some of the rooms. Rooms such as corridors, which are not as problematic when it comes to fire suppressing, can be treated differently in the safety analysis.

Handledare: Johan Sandstedt  
Ämnesgranskare: Bengt Carlsson  
Examinator: Elisabet Andrésdóttir  
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS08 026

# Populärvetenskaplig sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att utreda brandstyrkans möjlighet att utföra brandbekämpning i några av de mest kritiska utrymmena på Forsmark 1. De utrymmen som analyseras är kritiska ur säkerhetssynpunkt, eftersom två säkerhetssubar finns inom samma brandcell.

Brand är ett komplicerat fenomen att hantera både i verkligheten och i riskanalysen. Erfarenheter från en brand i ett ställverk 2005 visar på att utmaningarna vid en brandbekämpning är mer komplexa än de rent tekniska, vid släckning i exempelvis el- och kabelutrymmen. Utöver de risker som är förknippade med all sorts brandbekämpning (giftiga rökgaser, hetta, fallande föremål) uppstår det även specifika risker i samband med bekämpning av elbränder. Dessa kan bland annat vara att utrustning eller kabel skadats till följd av branden och att det i sin tur leder till att komponenter som normalt inte är spänningssatta blir strömförande.

Genom analys av mänsklig tillförlitlighet (Human Reliability Analysis, HRA) erhålls en detaljrik beskrivning av brandbekämpningsprocessen och hinder för en lyckad sådan. En stor del av analysen utgörs av information inhämtad genom rundvandringar med brandstyrka och stationstekniker, intervjuer med driftvakter och bevakningspersonal.

De utrymmen som bedöms ha den mest framgångsrika insatsen i analysen är korridorer och avställningsplan, eftersom utrymmena är rymliga och det inte är problematiskt att hålla säkerhetsavstånd eller välja släckmedel. ”Diskutera om att göra spänningsfritt” och ”problematiskt att välja släckmetod” är två variabler som ofta hamnar bland de sex viktigaste i genomförda analyser. Båda svårbedömda med avseende på vilken inverkan de har på släckinsatsen. Men de är också två variabler som med relativt enkla hjälpmedel skulle kunna minskas.

Enligt en SKI-rapport om släckmetoder finns det inga restriktioner för att gå in i elutrymmen med spänningar på upp till 1000 V vid brandbekämpning. Detta är dock inte förankrat hos brandmännen. Självbevarelsedrift, sunt förnuft samt att brandmännen genom utbildning har fått respekt för höga spänningsnivåer gör att de inte utan vidare går in i vissa utrymmen och utför släckning. En viktig anledning är hur utrymmet är utformat, om det är trångt med komponenter som skulle kunna bli strömförande vid en brand. Ett par av de analyserade utrymmena är så pass välfyllda av kabeldragningar kors och tvärs, samtidigt som det är stora utrymmen, att det utgör en risk att gå in i dem vid brand även om de vore spänningsslösa. Brand i kablar bildar snabbt tjock, ogenomtränglig rök som gör att risken för att förvilla bort sig i utrymmet är stor.

Denna studie föreslår en rad åtgärder som kan bidra till en snabbare och tryggare brandbekämpningsinsats. De viktigaste av dessa är:

- Gemensam rondering för drift och brandstyrka, under vilken bland annat rekommenderad släckmetod för specifika utrymmen tas fram.
- Förbereda tvåsubade utrymmen för att snabbt kunna göra dem delvis spänningsslösa.
- Erfarenhetsåterföring inom brandstyrkan och även med brandstyrkor på andra anläggningar.
- Undervisning och träning i hur elbränder bäst bekämpas.

# Innehållsförteckning

1 Inledning	4
1.2 Avgränsningar	5
1.3 Genomförande	5
1.4 Disposition	5
1.5 Ordlista	5
2 Bakgrund	7
2.1 Säkerhet och djupförvarsprincipen	7
2.2 Subindelning på Forsmark 1	8
2.3 Beskrivning av brandutryckning på Forsmark kraftstation	9
2.4 Brand i el- och kabelutrymmen	11
2.4.1 Brand i kabelutrymmen	11
2.4.2 Släckmetoder	11
2.4.3 Risker för brandpersonal	13
2.5 Att hantera brand i säkerhetsanalysen	13
2.6 Probabilistisk säkerhetsanalys	14
2.7 Redundans	16
3 Metod för att utreda mänsklig tillförlitlighet	18
3.1 Forskningsområdets framväxt	18
3.2 HRA i denna studie	18
3.2.1 Problemdefinition	20
3.2.2 Uppgiftsanalys: Beskrivning av brandbekämpningsinsats	21
3.2.3 Identifiering av mänskliga fel	22
3.2.4 Representation	23
3.2.5 Kvantifiering	23
3.2.6 Påverkansbedömning	26
3.2.7 Felreducering	26
4 Analys av brandbekämpning på Forsmark 1	27
4.1 Problemdefinition	27
4.2 Uppgiftsanalys	27
4.3 Identifiering av mänskliga fel	28
4.3.1 Beskrivning av problem förknippade med specifika utrymmen	29
4.4 Representation	34
4.5 Kvantifiering	35
4.5.1 Modellering i @Risk	36
4.5.2 Indata till modellen	37
5 Resultat av kvantifiering och felreducering	40
6 Diskussion	44
6.1 Brandsäkerhet på Forsmark 1	44
6.2 Räddningstjänsten som reaktorsäkerhet	46
6.3 Tillgodoräkning av manuell brandbekämpning i säkerhetsanalysen	47
6.4 HRA som arbetsmetod vid analys av manuell brandbekämpning	47
6.5 Ronder i anläggningen	48
7 Slutsatser	50

7.1 Rekommendationer	50
7.2 Förslag på fortsatta studier	51
<b>8 Referenslista</b>	<b>52</b>
8.1 Tryckt material	52
8.2 Rapporter och driftinstruktioner	53
8.3 Hemsidor	54
8.4 Intervjuer och walkdowns	54
<b>Bilagor</b>	<b>55</b>
Bilaga A: Simuleringsresultat	55
Bilaga B: Enkäter och frågeguider	60

# 1 Inledning

I juli 2005 uppstod en brand i ett ställverk i Forsmark 2. Trots den snabba utryckningen av brandstyrkan, och den ringa omfattningen av branden, blev situationen problematisk. Brandstyrka och personal hamnade i ett låst läge då brandstyrkan ansåg att det var för farligt att gå in i det spänningsatta utrymmet. Kontrollrumspersonal kunde inte garantera att det var spänningsfritt och däri låg dilemmat. Branden visade sig att vara svår att släcka från dörren, men efter att ha använt pulver för ändamålet gav insatsen gott resultat [16]. Osäkerhet i hur spänningslöshet ska hanteras och vilket släckmedel som är effektivast för aktuellt utrymme var två bakomliggande orsaker till fördröjningen.

Brand finns med som inledande händelse i kärnkraftverkets probabilistiska säkerhetsredovisning. Efter händelsen på Forsmark 2 insågs dock att de bakomliggande antaganden om brandstyrkans möjligheter att hantera uppkomna bränder inte helt återspeglar verkligheten. En brand är en komplex händelse, och olika händelseförlopp i samband med branden kan variera beroende på inledande händelser och brandens lokalisering.

Säkerhetsanalys handlar om att på ett systematiskt sätt använda tillgänglig information för att beskriva och beräkna risker förknippade med ett visst system. Detta skapar ett underlag för att värdera risker och som grund för beslutsfattande om att eventuellt genomföra åtgärder för att minska risken. Säkerhetsanalysen höjer förståelsen för risker i en verksamhet, men det finns även en mindre synlig ”bonus”, som kan vara nog så viktig. Själva arbetet med riskanalysen bidrar till att fokusera på säkerhet i det dagliga arbetet, vilket ger en högre riskmedvetenhet hos den personal som bidrar till analysen [3].

I ett försök att fördjupa och förbättra analysen av det mänskliga ingreppet i systemet (brandbekämpningsinsatsen) har detta examensarbete kommit till. Med kunskap om händelseförloppet vid branden 2005 har ytterligare ett 40-tal kritiska utrymmen i anläggningen studerats, och slutsatser har dragits angående möjligheter till att utföra släckning. Den arbetsmetod som har använts är *human reliability analysis* (HRA) – som är en metod för att identifiera och värdera mänsklig tillförlitlighet.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utreda brandstyrkans möjlighet att utföra släckning i några av de mest kritiska utrymmena på Forsmark 1. Genom analys av mänsklig tillförlitlighet ska sannolikheter för misslyckad manuell brandbekämpning uppskattas. Resultatet av studien ska kunna användas i den *probabilistiska säkerhetsanalysen* (PSA) för Forsmark 1. Arbetet syftar också till att ge åtgärdsförslag, som totalt sett leder till ett mindre riskbidrag från brand.

Ett antal specifika utrymmen studeras, utrymmen som i PSA visats att de vid total utbränning ger ett högt riskbidrag. Det handlar främst om utrymmen där två säkerhetsubar (av totalt fyra) finns i samma rum. En brand i ett sådant utrymme kan i värsta fall innebära att halva säkerhetssystemet slås ut vid en och samma incident.

## 1.2 Avgränsningar

Brand är ett komplext förlopp som är svårt att förutsäga. Därmed sker också brandsläckningsarbetet på olika sätt beroende på skiftande förutsättningar. Denna studie behandlar inte uppkomsten av brand eller brandspridning inom de aktuella utrymmena, utan analyserar enbart förutsättningarna för brandbekämpning. I viss mån diskuteras risken för spridning av brand, utan att göra anspråk på att förutsäga brandförloppet. Därmed innehåller studien grovhuggna antaganden om brandutveckling och spridningsrisk.

## 1.3 Genomförande

Arbetet har inletts med en litteraturstudie av metoder för att bedöma mänsklig tillförlitlighet i tekniska system. Den metod som är vanligast inom kärnkraftbranschen, och som också använts tidigare inom Forsmark kraftgrupp är THERP (Technique for Human Reliability Analysis), varför denna modell har fått utgöra centrum för studien.

I enlighet med THERP-metoden har walk-downs och intervjuer gjorts med brandpersonal, kontrollrumspersonal och personal från bevakningscentralen. Vidare har enkäter använts för att inhämta expertutlåtanden från brandpersonal. Resultatet har kvantifierats genom en beräkningsmodell i programvaran @Risk (Palisade), som är ett tilläggsprogram till Microsoft Excel.

För att kunna genomföra analysen har också en studie av risker förknippade med bränder i drifttrum genomförts. Erfarenheter från tidigare bränder har hämtats främst genom studie av artiklar som analyserar brandförlopp och statistik. Av dessa kan räddningstjänstrapporten från Forsmark 2 nämnas.

## 1.4 Disposition

Rapporten innehåller sex kapitel och i detta första kapitel har problemområdet och studiens syfte beskrivits. Det andra kapitlet utgörs av en bakgrundsbeskrivning, som bland annat behandlar risker förknippade med brand, och hur brand hanteras på Forsmark kraftstation. I samma kapitel presenteras teorin bakom probabilistisk säkerhetsanalys, och därefter, i kapitel tre, den del av teorin som rör mänsklig tillförlitlighet. Därefter följer kapitel fyra, som innehåller analys av brandbekämpningsinsatsen. Kapitel fem och sex innehåller en utförlig diskussion respektive sammanfattande slutsatser.

## 1.5 Ordlista

Inom kärnkraftbranschen finns en mängd uttryck och begrepp. Här följer en ordlista som kan vara behjälplig vid läsning av denna rapport. I föreliggande rapport har dock antalet förkortningar minimerats och endast de mest frekventa och inarbetade såsom HRA, PSA, SAR och sub används.

**Brandbelastning** Ett mått på hur mycket brännbart material som finns i ett utrymme eller brandcell. Inklusive inredning och löst material.

**Brandfrekvens** Antal förväntade bränder under ett driftår. Beräknas för olika typer av utrymmen med hjälp av statistiska metoder.

**Transient brandbelastning** Brännbart material som normalt inte ska vara i utrymmet.

**Driftrum** Utrymme på kärnkraftverket som innehåller komponenter som används under drift. (Alltså inte kontor, lunchmatsal eller lager)

**Felfrekvens** Enhet: antal fel som uppstår per driftår. En storhet som kan användas till att jämföra tillförlitligheten i olika system.

**FKA** Forsmark Kraftgrupp AB

**HRA – Human Reliability Analysis** Studie av mänsklig tillförlitlighet. Då det förekommer i PSA-sammanhang är det ofta liktydigt med kvantifiering av risker vid mänskliga ingrepp.

**Härdskadefrekvens** Antal förväntade händelser som leder till härdskada per driftår.

**NBSG – Nationella brandsäkerhetsgruppen** En grupp med representanter från SKI och svenska kärnkraftsanläggningar som samordnar forskning, tester och informations spridning inom brandfrågor.

**PSA – Probability Safety Assessment** Metod för att strukturera och beräkna risker i ett tekniskt system.

**SAR – Safety Analysis Report** En kärnkraftsanläggnings säkerhetsredovisning. Beskriver verkets drifttillstånd.

**SKI** Statens kärnkraftinspektion

**Sub** Redundant stråk inom ett processystem och för delsystem inom elkraft- och kontrollutrustning. Säkerhets- och hjälpkraftsystemen är indelade i fyra subar.

**Säkert läge** Kall avställd reaktor och trycklös tank, härden är vattentäckt och med fungerande resteffektkylning.

**Inre händelse** En händelse som måste hanteras av säkerhetssystemen, och som uppstår genom fel i något system i kärnkraftverket.

**Yttre händelse** Hit hör till exempel brand, översvämning, missiler och tryckalstrande händelser.



## 2 Bakgrund

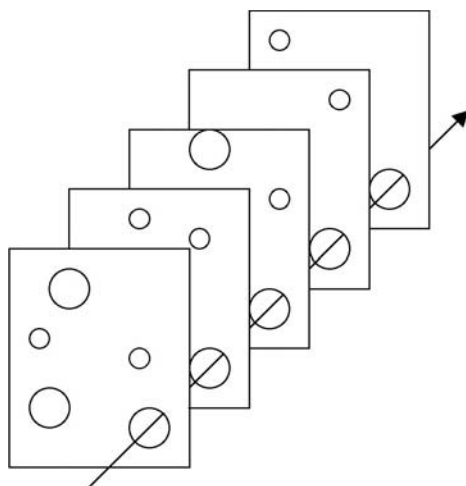
Detta kapitel avser ge en bakgrund till studien och tydliggöra problematiken som finns med avseende på brand i kritiska utrymmen på Forsmark 1. Detta görs genom att först beskriva hur man arbetar med säkerhet på svenska kärnkraftverk genom exempelvis djupförsvarsprincipen. Sedan studeras eventuella brister som kan förekomma i anläggningen med avseende på separering av säkerhetssystem och en beskrivning av specifika problem med brand ges, samt hur en manuell brandbekämpningsinsats går till. Kapitlet avslutas med en genomgång av probabilistisk säkerhetsanalys.

### 2.1 Säkerhet och djupförsvarsprincipen

Ett kärnkraftverk är utformat med inbyggda fysiska barriärer för att undvika spridning av aktivitet. Dessa barriärer utgörs av 1. Bränslekutsen, 2. Bränslekapslingen, 3. Reaktortanken, 4. Reaktorinneslutningen, 5. Reaktorbyggnaden. Fysiska barriärer mot brand finns också, vilket utgörs av att systemen är placerade i olika brandzoner eller brandceller [21].

Med hjälp av probabilistisk säkerhetsanalys kan bland annat frekvensen för händelser som leder till härdskador beräknas. Tekniska brister i ett kärnkraftverk kan få dyra och oönskade följder, vilket gör att det hela tiden är viktigt att hålla en hög säkerhetsnivå. Att ha en ”god barriär mot härdskada” innebär att den beräknade frekvensen för härdskada hela tiden understiger en viss nivå [31].

I Figur 1, nedan, symboliseras de olika barriärerna av ostskivor. Det finns alltid en viss risk för att ett fel (eller kombinationer av fel) ska kunna ta sig igenom skyddsbarriärerna, och leda till allvarliga fel. Det gör att ett kärnkraftverk även måste kunna hantera omfattande haverier.



**Figur 1: Swiss Cheese-modellen beskriver tänkesättet om hur ett fel kan ta sig igenom en försvagning i barriärer [10]**

För att förhindra att olyckor sker i kärnkraftverk, arbetar man med säkerhet på flera nivåer, vilket kallas *djupförsvarsprincipen*. Tanken är att om försvaret på en viss nivå av någon anledning misslyckas så ska försvaret på nästa nivå ”fånga upp” händelsen. Brandskyddsarbetet är organiserat efter djupförsvarsprincipen enligt följande [22]:

1. *Störningsförebyggande* – förhindra att bränder uppkommer (SBA – systematiskt brandförebyggande arbete)
2. *Haveriförebyggande* – snabb detektering och släckning om brand ändå uppkommit. (Automatisk släckning och/eller manuell brandstyrka)
3. *Konsekvenslindrande* – bränder som inte släcks i ett tidigt skede ska ändå inte kunna äventyra säker avställning av reaktorn, eller leda till aktivitetsutsläpp. (Brandceller och brandzoner)

Brandstyrkans roll i detta utgörs till stor del av brandförebyggande arbete, till exempel utbildning av personal, rondering av anläggning och kontroll av brandsläckningsutrustning.

Statens kärnkraftsinspektion, SKI, föreskriver vilka krav som gäller för kärnkraftsreaktorers konstruktion och utförande i SKIFS 2004:1-2 (Statens kärnkraftsinspektions föreskrifter om konstruktion och utförande av kärnkraftsreaktorer). Bland dessa finns krav på att ett kärnkraftverk måste upprätthålla en detaljerad beskrivning av kärnkraftverket, dess system och tekniska läge. Detta görs genom ett levande dokument: SAR; Safety Analysis Report.

Brandsäkerhetsarbetet styrs utöver SKIFS av föreskrifter från Räddningsverket (SRVFS och SAIFS) och Boverket (BFS kap 5). Brandskyddskrav kopplade till reaktorsäkerheten finns i SAR allmän del kapitel 4.8. FKA:s verksamhet omfattas också av lagen om skydd mot olyckor (LSO), vilket innebär att man är skyldig att analysera riskerna för olyckor som kan orsaka allvarliga skador på människa och miljö. FKA ska i skäligen omfattning hålla eller bekosta beredskap med personal och egendom, för att förhindra eller begränsa skadorna av sådana olyckor [29].

Det finns säkerhetssystem som ska avhjälpa uppkomna fel och eventuella konsekvenser av fel i driftsystem (system som används under normal drift och under normala förhållanden). Dock finns det alltid en viss risk att fel även uppstår i säkerhetssystem. Den totala risken för att fel som leder till anmärkningsvärda konsekvenser uppstår sänks genom att arbeta med *redundans*, (övertalighet i säkerhetsfunktionerna). Nästa delkapitel beskriver hur detta är implementerat i säkerhetssystemen genom att bland annat hjälpkraftsystemen och säkerhetssystemen är indelade i fyra av varandra oberoende stråk, så kallade *säkerhetssubar*. De fyra säkerhetssubarna fungerar i princip helt oberoende av varandra.

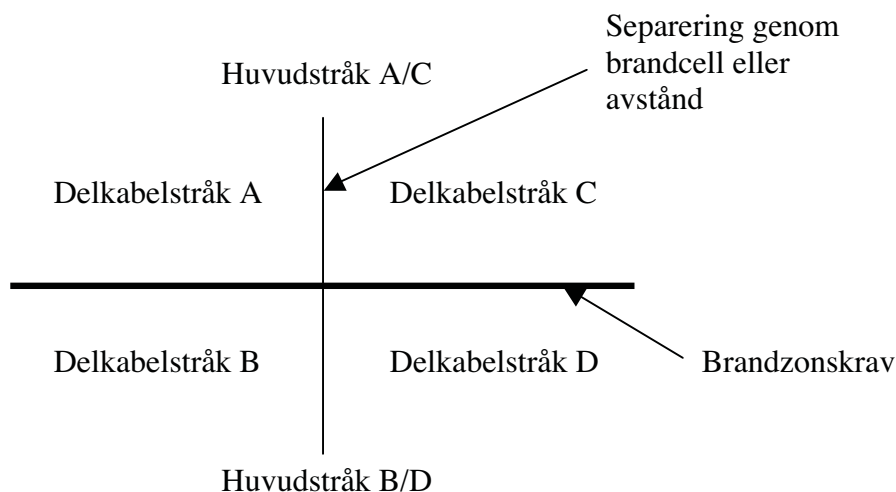
## 2.2 Subindelning på Forsmark 1

På Forsmark 1 är, som nämnts, säkerhetssystemet indelat i fyra redundanta stråk, så kallade säkerhetssubar. Anläggningen försörjs av fyra av varandra oberoende hjälpkraftsystem och varje sub har minst en kapacitet på 50%. Om ett allvarligt fel inträffar i en av de fyra subarna, så innebär detta att det därmed finns tre intakta subar som kan försörja anläggningen [23].

Säkerhetssubarna är, så långt detta är möjligt, elektriskt och fysiskt separerade från varandra för att hindra att någon form av fysisk störning (till exempel brand) ska drabba mer än en sub. Dock är subarna inte strikt skilda i olika brandceller. Det finns utrymmen i Forsmark 1 och 2 där två subar är placerade i samma utrymme. Subsepareringen kan i

sådana utrymmen bestå i att ett visst avstånd hålls mellan subar, eller att gipsskärmar delar av. Utrymmen där så är fallet är främst kabeldragningar, ställverksrum och relä- och apparatrum. Om en brand skulle inträffa i ett sådant utrymme kan i värsta fall funktionen från två säkerhetssubar förloras samtidigt. I Figur 2 nedan visas en principiell figur över subseparering i Forsmark 1 och 2.

Med brandzonskrav menas att systemen begränsas genom att de är placerade i olika byggnader. Ventilationssystemen är skilda med undantag för frånluftutsläpp till huvudskorstenen.



**Figur 2:** Säkerhetssubarnas delkabelstråk är i vissa fall dragna i samma utrymmen. A/C och B/D är däremot strikt separerade från varandra överallt [25].

Gemensamt för de utrymmen som undersöks i denna studie är att två säkerhetssubar är placerade i samma utrymme. Utrymmen med två subar har i PSA för brand visat sig bidra mer till den totala frekvensen för härskada, än brand i andra typer av utrymmen. I alla utrymmen finns automatisk branddetektering, och i somliga automatisk släckning i form av vattensprinkler. Några utrymmen saknar automatiska släckinstallationer, främst på grund av känslig utrustning (elutrustning) som ej tål vatten i större mängder. I de fall automatisk brandsläckning saknas, förlitar man sig till att den manuella brandstyrkan som bemannar anläggningen dygnet runt, alla dagar i veckan, klarar att göra en insats. Dock kan det även för den manuella brandstyrkan vara problematiskt att utföra släckning i utrymmen med mycket elutrustning, och det är *här* denna studie kommer in i bilden. Studien ska utreda brandstyrkans möjlighet att utföra släckning i några av de mest kritiska utrymmena på Forsmark 1. Nästa delkapitel beskriver hur en sådan utryckning går till.

### 2.3 Beskrivning av brandutryckning på Forsmark kraftstation

Brandstyrkan har sin bas på brandstationen som ligger inom FKA:s industriområde, i nära anslutning till alla tre blocken. Larm om en misstänkt brand som detekteras på Forsmark 1 kommer direkt till branddatorn i kontrollrummet. Kontrollrumspersonal meddelar, via telefon, till bevakningscentralen att det finns en misstänkt brand, och uppger tid och anger plats (alla utrymmen har specifik numrering som adress) för denna. Den interna brandstyrkan kontaktas av bevakningscentralen genom larm på

personsökare, i lokalen och brandbilen. Brandförman tar emot ett muntligt meddelande, via radio eller mobiltelefon, om var larmet utlöst och vilken angreppsport som ska användas. Brandstyrkan ska vara vid angreppsporten ”inom rimlig tid” vilket skulle kunna säga motsvarar 5-10 minuter. Under transporten till angreppsporten kontakter brandförmannen driftvakten i kontrollrummet för ytterligare information om händelsen [30, 36].

För varje utrymme i byggnaden finns en brandbekämpningsplan som beskriver rekommenderad angreppsväg. Brandbekämpningsplanen finns både hos bevakningscentralen, i kontrollrummet och i brandbilen. Instruktionen visar en översikt över området där angreppsportarna är markerade. På en layout är även detektorer, brandposter och placering av handbrandsläckare markerade. Det finns en beskrivning av vilken bästa vägen från porten till aktuellt rum är, formulerat i ord. (Stationstekniker som möter upp förväntas obehindrat hitta inom anläggningen) [30, 34].

Vid angreppsporten möter en stationstekniker och en vakt från bevakningscentralen upp. Vakten har till uppgift att bevaka porten så att inte obehöriga kan passera in. Brandstyrkan behöver inte byta om till overaller vid insats på kontrollerad sida, men ska ta ansvar för sitt eget strålskydd. Brandstyrkan har både personliga dosimetrar och elektronisk radiometer [30, 34].

Stationstekniker överlämnar brandnyckelknippan till rökdykarledaren och lotsar sedan rökdykargruppen till det drabbade utrymmet. Brandförman och chaufför stannar vid porten, men har kontinuerlig radiokontakt med gruppen på insidan. Brandförman håller också kontakt med kontrollrummet för att i samråd med driftvakt ta beslut om hur insatsen ska genomföras. Det är brandförmannen som har ansvar för räddningsinsatsen, medan driftingenjören i kontrollrummet ansvarar för anläggningens säkerhet. I samråd beslutar de om vilken insats som ska genomföras [30, 34].

Rökdykargruppen består normalt av tre personer: rökdykarledare och två rökdykare. Vid en större eller svårare insats måste förstärkning från Östhammar inväntas för att möjliggöra användning av flera rökdykarpär som avlöser varandra [34].

Generellt sett ska kablar och komponenter med systemspänning över 1000V alltid brytas vid brandbekämpning. Dock är sådan åtgärd inte alltid möjlig eller önskvärd med tanke på att anläggningens säkerhet alltid ska kunna upprätthållas. Spänningsnivåer under 1000V ska inte utgöra något hinder i släckarbetet, då bedöms brandsläckning kunna ske med spänningssatta system. Driftledning och räddningsledning bedömer i samråd om insats med bibehållen spänning är möjlig [30].

Vid en rökdykning går (kryper) två rökdykare in tillsammans. Sikten i rummet är som regel mycket dålig, eftersom många material i denna miljö utvecklar kraftiga rökgaser. För att inte tappa orienteringen i utrymmet kryper rökdykarna medsols i rummet, med ena handen i väggen vid genomsökande efter brand [30].

I kontrollrummet intar operatörerna sina positioner och har varsin störningsinstruktion som de följer och kontrollerar läget efter. Vid en brand tas alltid reaktorn ned till varm eller kall avställning. Detta sker planerat om händelsen inte påverkar reaktorsäkerheten i utgångsläget. Om större risk föreligger kan snabbstopp behöva utlösas, vilket innebär att styrstavarna skjuts in i härden och stoppar kärnklyvningsprocessen inom några

sekunder. Eftersom viss effektutveckling (resteffekt) även sker efter snabbstopp, måste härden kunna kylas efter det utlösta snabbstoppet. Detta medför att funktionen hos minst en eller två säkerhetsubar, beroende på vilket utrymme eller system som drabbats, måste kunna säkerställas [36].

## 2.4 Brand i el- och kabelutrymmen

I studien ingår sju olika typer av el- och kabelutrymmen. Ställverksrum innehåller omkring 20 ställverksskåp längs med långsidorna. Relärummen innehåller ett 70-tal reläskåp där skåpsgränserna utgör subseparering. Apparaturum innehåller också ett stort antal elskåp, och är beläget intill centrala kontrollrummet. Utöver dessa finns det ett antal utrymmen med kabeldragningar: kabelvåningar, kulvertar och schakt. Även några korridorer ingår i studien, eftersom kablar från redundanta stråk passerar igenom korridorerna.

### 2.4.1 Brand i kabelutrymmen

Brandegenskaperna hos en kabel beror till stor del på hur den är förlagd. En vertikal förläggning sprider brand lättare än en horisontell. Vertikala kabelstegar bedöms vara det värsta brandscenario som kan erhållas i kabelutrymmen. Tillgången på syre spelar också roll, varför kablar med ett litet avstånd mellan varandra brinner bättre än tätt packade kablar [17].

När PVC-kablar brinner bildas snabbt en svart, tjock rök. Röken innehåller giftiga och frätande gaser som klorgas. I reaktion med vatten bildar klorgasen saltsyra, vilket kan skada annan utrustning i rummet. Saltsyradimman som uppstår kan även fångas upp av ventilationssystemet, och spridas till andra delar av anläggningen. Syran som kondenserar på metallytor verkar starkt korroderande, och kan leda till omfattande skador i anläggningen [2].

En del av kablarna i anläggningen är halogenfria kablar, som istället avger en tunn, ljus och genomsynlig rök. Denna är mindre giftig, och medför inga saltsyreproblem [2].

För att utreda brandriskerna i kabelutrymmen har NBSG (nationella brandsäkerhetsgruppen) låtit utföra brandtester på åldrade kablar från kärnkraftverket. Testerna genomfördes på kraftkabel och signalkabel som funnits och använts i kraftverket i över 20 år. Testerna visade att både kraftkabel och signalkabel höll brandskyddsklass, alltså att de inte brann självmant och självslocknade när brandstiftaren avlägsnades. Huruvida funktionen skulle kunna upprätthållas, och i sådana fall hur länge visar dock inte testet, eftersom kablarna ej var spänningssatta vid test [27].

Att kablar har självantänd och utvecklat brand (genom kortslutning) finns inget dokumenterat exempel på. Den största faran är därmed om transient brandbelastning och brandstiftare finns i rummet av någon anledning och orsakar brand. Huruvida fara för sabotage föreligger har inte undersökts i denna studie.

### 2.4.2 Släckmetoder

De släckmedel brandstyrkan har att använda sig av är vatten, kolsyra, pulver och olika skumblandningar. Släckmedlen lämpar sig olika bra beroende på aktuellt utrymmes

geometriska utformning och apparatur, samt aktuell brandkälla. Som tidigare nämnts är brand ett komplext förlopp och det går inte att exakt beskriva hur en släckinsats ska utföras. Denna genomgång är endast principiell och ger inte en fullständig bild av släckmetoder.

Vid bränder i elektrisk utrustning bör *vatten* som släckmetod undvikas i möjligaste mån, eftersom vatten är strömförande och kan orsaka kortslutningar i till exempel elskåp. Vid släckning med hel stråle mot strömförande utrustning ökar risken för att den som håller i brandslangen ska utsättas för ström genom kroppen. Säkerhetsavstånd ska därför beaktas och får inte överträdas [17].

*Kolsyra* kan användas i begränsade utrymmen, exempelvis stängda elskåp. Fördelen med att använda gas som släckmetod är att det är rent och inte bidrar till nedsmutsning och korrosion av utrustning.

*Skum* kan användas i utrymmen där brandstyrkan av olika anledningar inte kan ta sig in. Skum är vattenbaserat och kan därmed orsaka liknande skador som vattensäckning. Dock är risken för att personal ska skadas mindre. För att genomföra en effektiv släckning med skum måste det finnas en öppning i var ände av utrymmet.

*Pulver* är en effektiv släckmetod vid elbränder, men har nackdelen att det smutsar ner och efter en insats krävs därför en omfattande saneringsinsats i berört utrymme.

Ett effektivt sätt att släcka en kabelbrand är att *punktsläcka* i ett tidigt skede, med kolsyrasläckare eller handbrandsläckare. Normalt är brandutvecklingen i en kabel långsam, och brandklassade kablar sprider inte brand. Men beroende på hur mycket energi som tillförs (i form av transient brandbelastning) kan även sådana kablar ta eld. Om branden är så pass utbredd att punktsläckning inte är något alternativ kan vatten eller lättskumfyllning av utrymmet användas som släckmetod. Vid skumfyllning kommer kabelutrymmet att fuktas ner, men eftersom vatteninnehållet är förhållandevis lågt blir skadorna inte lika omfattande som i de fall då enbart vatten används [17].

Ett elskåp utgörs av ett metallskåp, innehållande elektroniska komponenter. Skåpen är cirka två meter höga, och en halv meter breda respektive djupa, men mindre skåp finns också. Antalet elektriska komponenter i skåpen varierar. Det finns ventilationsöppningar i skåpen för att förhindra att övertemperaturer uppstår, och de flesta modeller har ett hål med lock i överkant, där ett speciellt kolsyramunstycke passar att stickas in vid brandsläckning. Det brännbara materialet i elskåp består av bland annat kablar och kretskort. Effektutvecklingen efter 10 minuters brand i ett elskåp kan uppgå till 5-140 kW, beroende på brandbelastningen. Branden kan spridas till intilliggande elskåp, men är skåpen ordentligt stängda är risken liten, och spridningen sker långsamt. En annan riskfaktor är att röken från ett brinnande skåp kan orsaka kortslutningar i intilliggande skåp. Brand i vissa specifika elskåp kan få stor betydelse för anläggningens drift och därmed är det av stor vikt att intilliggande skåp skyddas från varandra vid brand. Att släcka bränder i elskåp med vatten kan vara problematiskt, eftersom släckvattnet kan ge skador på elkomponenterna. Ofta saknas även golvbrunnar i elskåpsutrymmen, varför släckvattnet samlar upp och stannar kvar i utrymmet [17].

### 2.4.3 Risker för brandpersonal

Utöver de risker som är förknippade med all sorts brandbekämpning (giftiga rökgaser, hetta, fallande föremål) uppstår det även specifika risker i samband med brandbekämpning av elbränder. Dessa kan bland annat vara att utrustning eller kabel skadats till följd av branden och att detta i sin tur leder till att komponenter som normalt inte är spänningssatta blir strömförande. Bränder kan även orsaka att kablar brinner av och blir hängande fritt i rummet. Vid dålig sikt kan detta medföra allvarliga risker för den personal som deltar i själva insatsen [34].

De utrymmen som är aktuella i denna studie har spänningsnivåer upp till 500 V och somliga innehåller även kraftkabel på 6 kV. Vid brand i dessa el-utrymmen måste därför särskild uppmärksamhet riktas mot att inte utsätta brandpersonalen för ytterligare risker i form av starkström.

*Säkerhetsavstånd* är det minsta avstånd som måste hållas till spänningsförande anläggningsdelar vid släckning. Säkerhetsavståndet varierar beroende på vilket släckmedel som används [32].

**Tabell 1: Säkerhetsavstånd vid släckning av strömförande föremål [32].**

Släckmedel	Spänning	Säkerhetsavstånd
Spridd vattenstråle	Upp till 130 kV	3 meter
Spridd vattenstråle	Över 130 kV	5 meter
Sluten stråle, max 14 mm strålrör	Alla spänningar	10 meter
Pulver och CO <sub>2</sub>	Upp till 50 kV	1,5 meter

Tabell 1 ovan beaktar betydligt högre spänningsnivåer än vad som finns i de aktuella utrymmena för denna studie. I en SKI-rapport om släckmetoder framgår det att vid systemspänning upp till och med 1000V föreligger ur brandsläckningssynpunkt inga tillträdesrestriktioner. Dock måste säkerhetsavstånd vid släckning hållas. [4] De säkerhetsavstånd som SKI och FKA tillämpar finns i Tabell 2, nedan.

**Tabell 2: Säkerhetsavstånd på FKA [29].**

Släckmedel	Spänning	Säkerhetsavstånd
Spridd vattenstråle	Upp till 1000 V	1 meter
Spridd vattenstråle	1 kV - 130 kV	3 meter
Pulver och CO <sub>2</sub>	Upp till 1000 V	0,5 meter
Pulver och CO <sub>2</sub>	1 kV – 50 kV	1,5 meter

## 2.5 Att hantera brand i säkerhetsanalysen

Ett brandscenario är ett komplext fenomen, eftersom det finns en mängd olika sätt som branden kan uppstå på, och flera omgivningsfaktorer som påverkar förloppet. Branden kan få vitt skilda konsekvenser beroende på var och när den inträffar. Det finns några grundläggande parametrar som påverkar brandförloppet, vilka är viktiga att beakta vid en brandanalys: rumsgeometri, typ av inredning och aktiva eller passiva branddämpande installationer, etc [25].

I denna studie ingår ej att utreda uppkomst av brand. Istället har historiska data (statistik) används för att beräkna sannolikheten för att brand uppstår i olika utrymmen, vilket sedan har använts i analysen.

Vid genomförandet av brandanalyser är det viktigt att ha förståelse för brandrisker och vad som påverkar ett brandförlopp. Erfarenheter från tidigare händelser i kärnkraftverk visar att i de fall långlivade bränder uppstått har följande fyra faktorer varit avgörande:

- Fördröjning i initiering av brandsläckning
- Användning av ineffektivt släckmedel vid de inledande släckförsöken
- Storleken på branden i ett tidigt skede
- Branden belägen på ett svåråtkomligt läge

Enligt en NUREG-rapport fångas dessa faktorer vanligen inte upp inom kärnkraftverkens probabilistiska säkerhetsanalyser. Dock borde dessa parametrar studeras närmare och låtas ge tydligare avtryck i analysen [5].

Det finns även exempel som visar att långsamt eller undermåligt beslutstagande, eller att en annan händelse sker som avleder uppmärksamheten, kan medföra att brandstyrkans insats fördröjs, även vid allvarliga bränder. Likaså kan en oberoende händelse som sker i samband med den initiala branden avleda uppmärksamheten från branden och därmed fördröja insatsen.

De ovan nämnda erfarenheterna talar för att den uppskattade sannolikheten för en lyckad eller misslyckad brandbekämpning (inom PSA) borde bygga på en kombination av de två vanligaste sätten att generera felsannolikhet på [5]:

- Generisk kurva av sannolikheten för att branden ska släckas (vilken bygger på historiska data), som funktion av tiden.
- Metoder som bygger på tidtagning av brandstyrkans övningar.

Händelser som fördröjer eller förhindrar brandbekämpningsinsatsen kan uppkomma under alla skeden i insatsen. Det är inte heller säkert att elden kan släckas med det samma när brandbekämpning initierats. Upprepade försök kan krävas innan elden slutligen är släckt. Risk för en ineffektiv eller fördröjd brandsläckning borde därmed ingå i kärnkraftverkets PSA [5].

## 2.6 Probabilistisk säkerhetsanalys

Ett sätt att skatta risker i ett tekniskt system är att kombinera kunskap om en *logisk modell* av systemet med *feldata* för ingående komponenter. Metodiken, probabilistisk säkerhetsanalys, används inom kärnkraft för att identifiera brister i säkerheten. [3]

Målet med en probabilistisk säkerhetsanalys är att bedöma sannolikheten för härdsador och konsekvenserna för reaktoranläggning och omgivning. Analysen kan genomföras på tre olika nivåer [23]:

Nivå 1: Syftar till att beräkna sannolikheten för härdskada per driftår.

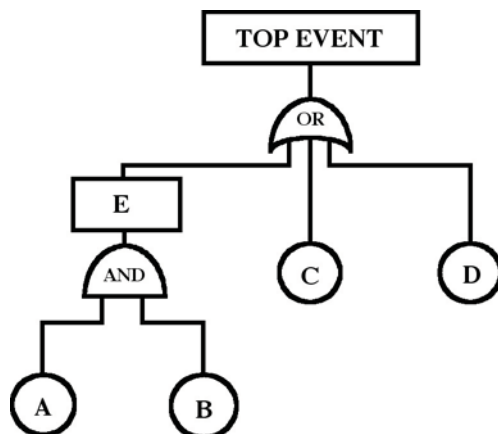
Nivå 2: Omfattar nivå 1 och även en analys av sannolikheten för utsläpp av radioaktiva ämnen utanför inneslutningen.

Nivå 3: Består av nivå 1 och 2, och sannolikheten för de radioaktiva ämnenas spridning i omgivningen, samt dess konsekvenser.



Att analysera sannolikheter för nämnda scenarion ingår i Statens Kärnkraftsinspektions föreskrifter för kärnkraftanläggningar (SKIFS). I SKIFS 2004:1 står att en kärnkraftanläggning ska analyseras med probabilistiska metoder för att ge en så allsidig bild som möjligt av säkerheten. Analyserna tillråds även inkludera möjliga ingripanden av operatörer och en analys av operatörsfel, för att undersöka hur väl anläggningen klarar olika typer av inledande händelser [31].

Beräkningen för analysen görs genom att bygga upp en modell, ett så kallat felträd, där varje händelse (fel) som beaktas i systemet modelleras med en sannolikhetsfördelning. Indata till modellen hämtas främst från *T-boken*, som är en databas över komponenter i ett kärnkraftverk, med statistik för hur ofta de har felfungerat (alltså inte fungerat som förväntat). En komponent kan felfunkera på olika sätt, vilket beskrivs av olika *felmoder*. En typisk felmod kan vara utebliven start av en komponent (till exempel en pump), eller obefogat stopp. Figur 3 nedan visar ett enkelt felträd bestående av en *topphändelse*, fyra *bashändelser* och logiken med vilken dessa är länkade till varandra. Topphändelse är det scenario som felträdet analyserar, och utgörs av målet med den aktuella PSA:n (läs mer om PSA:ns mål i nästkommande kapitel).



Figur 3: Ett exempel på ett felträd.

Ett exempel till felträdet i Figur 3 kan illustrera hur logiken är uppbyggd: Topphändelsen kan motsvaras av "Klockradion larmar inte". Att alarmet inte ringer kan *antingen* bero på E, "strömförsörjning saknas", C, "larmet ej påslaget", *eller* D, "klockradion är trasig". Händelse E beror i sin tur på A, "sladden är inte i väggen", *och* B, "batterierna är slut". Händelserna A-D är så kallade *bashändelser* och motsvarar felhändelser på lämplig systemnivå där det finns feldata att tillgå eller uppskatta. För varje bashändelse lagras information om med *vilken frekvens* händelsen sker, eller *sannolikhet för felfunktion* då komponenten (eller funktionen) behövs [23].

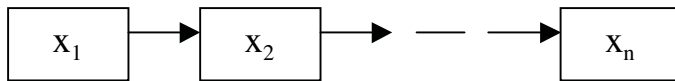
Bashändelserna A och B förhåller sig logiskt till varandra genom att *båda* måste inträffa för att felmoden E ska vara sann. Det logiska sambandet beskrivs med en och-grind, se Figur 3. För att (den oönskade) topphändelsen ska inträffa måste *antingen* E, C eller D inträffa. Denna logik representeras i felträdet som "eller"-grindar. (Det finns fler typer av grindar i de felträd som används för att studera reaktorsäkerhet, men dessa två är de mest grundläggande) [23].

## 2.7 Redundans

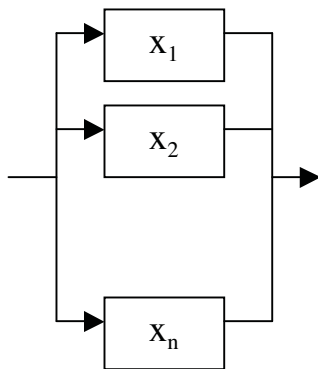
Detta avsnitt beskriver principen med *redundans*, och vilken inverkan det har på säkerhetsanalysen.

Redundans i systemet är viktigt, eftersom det sänker sannolikheten betydligt för att ett fel ska leda till en allvarlig händelse. Nedan jämförs genomslaget av ett komponentfel i ett parallellkopplat system med ett seriekopplat, se Figur 4 och Figur 5 för logisk representation. Det parallellkopplade systemet av komponenter nedan kan jämföras med en anläggning som tillämpar redundans. Varje komponent motsvarar då ett redundant system inom anläggningen. Redundans kan även gälla på komponentnivå i anläggningen och då motsvarar systemet nedan ett anläggningssystem.

Systemet,  $S$ , kan beskrivas som en kombination av de ingående komponenterna, och systemet fungerar om vissa kombinationer av komponenterna fungerar.



Figur 4: System S1, ett seriesystem



Figur 5: System S2, ett parallellsystem

Komponenternas funktion kan beskrivas av en tillståndsvariabel,  $x$ :

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{om komponent nr } i \text{ fungerar} \\ 0 & \text{om komponent nr } i \text{ ej fungerar} \end{cases} \quad (1)$$

Antag ett system  $S$  av  $n$  komponenter. Vektorn  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  innehåller information om alla komponenters funktion. Strukturfunktionen ges av

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & \text{om } S \text{ fungerar} \\ 0 & \text{om } S \text{ ej fungerar} \end{cases} \quad (2)$$

Sannolikheten för att systemet,  $S_1$ , fungerar vid en given situation kan beräknas genom strukturfunktionen för seriekopplade system:

$$\phi(x) = x_1 x_2 \cdot \dots \cdot x_n = \prod_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Strukturfunktionen för parallellkopplade system ges istället av:

$$\phi(x) = 1 - (1 - x_1) \cdot \dots \cdot (1 - x_n) = \prod_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

I ett seriekopplat system räcker det att *en* komponent är trasig för att felet systemet ska betraktas som felfungerande, enligt ekvation nummer 3. I funktion 4 krävs att  $x_i = 0$  för alla  $i$  för att ge  $\phi = 0$  [9].

Om en kritisk komponent endast finns i ett exemplar, med en felsannolikhet på 0,1, blir systemets felsannolikhet följaktligen också 0,1. Då en komponent läggs till parallellt i systemet, som i Figur 5, blir sannolikheten för ett fel i systemet uppstår 0,01, eftersom sannolikheterna multipliceras. Genom att ha flera likadana komponenter parallellkopplade minskas alltså risken för att något skulle inträffa som slår ut hela systemet.

## 3 Metod för att utreda mänsklig tillförlitlighet

### 3.1 Forskningsområdets framväxt

”Human factors engineering” är ett forskningsfält som etablerades efter andra världskriget. Begreppet ”mänsklig tillförlitlighetsanalys” (Human Reliability Analysis, HRA) omfattar all typ av analys av mänsklig inverkan på ett tekniskt system, Inledningsvis var det USA och Storbritannien som satsade resurser på att designa krigsmateriel på ett sätt som bättre passade operatören (människan) och dennes brister. Den primära anledningen till detta var att minska frekvensen oönskade konsekvenser på grund av mänskliga fel i komplexa system. Dessa konsekvenser kunde vara i form av försämrad produktivitet, manöverbarhet och prestationsförmåga [13].

Man hade insett att det traditionella sättet att designa materiel på ofta inte fungerade optimalt; att ha systemets funktion och effektivitet i fokus kan leda till att man missar att systemets verkningsgrad även är beroende av dess hanterbarhet och opererbarhet. Iakttagelsen att även väl utbildad och motiverad personal ibland gör fel leder till att fältet ”human factors” vinner mark och börjar så småningom även inkorporeras i designen av tekniska system [13].

Under tidigt 50- och 60-tal uppkom tanken på att använda metodiken inte enbart till att *identifiera* mänskliga misstag, utan även att *kvantifiera* dem för att kunna använda i design och för att bedöma ”human error probability” HEP. De första HRA-metoderna (till exempel THERP-technique for human error rate prediction) utarbetades på 60-talet. Den första kommersiella tillämpningen var 1968 på kärnkraftsutrustning, och den första storskaliga användningen påbörjades 1972, i USA. Utifrån detta försök utvecklades sedan ”HRA Handbook”, vars metodik tillämpats på flera kärnkraftverk och inom flygindustrin. Efter den första versionen har många metoder utvecklats med liknande ändamål [13].

Kärnkraftolyckan i Harrisburg (Three Mile Island) 1979 bidrog starkt till att antalet HRA-studier ökade kraftigt i början på 80-talet [38]. Olika kvantifieringsmetoder användes för att bedöma sannolikheten för att vissa fel skulle inträffa. Dock lades liten vikt vid att utreda bakomliggande orsak till felhandlingen, och vilka mekanismer som utlöste den. Dessa brister lyftes fram på ett tydligare sätt genom bland annat Dougherty’s artikel i *Reliability Engineering & System Safety* (1990). I artikeln pekar han ut de främsta bristerna med dåtidens HRA-analyser, bland annat att de framsteg som gjorts inom kognitionsvetenskap och psykologi sällan införlivades i HRAs ramverk [1].

### 3.2 HRA i denna studie

HRA är tätt sammankopplat med probabilistisk säkerhetsanalys, PSA. Inom den mänskliga tillförlitlighetsanalysen, finns det flera olika metoder att använda sig av. Den vanligaste inom kärnkraftsindustrin är THERP [6], vilken också är utgångspunkten för denna studie. Genom arbetets gång har det blivit tydligt att metodiken främst är anpassad för situationer där det är möjligt att ta fram en instruktion för korrekt handlande vid en specifik situation; manövrering av ett kärnkraftverk är ett exempel på en sådan situation. En brandbekämpningsinsats är mer situationsbunden till

sin karaktär och av den oändliga variation av situationer som kan uppkomma finns det flera möjliga ageranden. Det finns i nuläget endast en mycket övergripande plan formulerad för hur brandbekämpningen i olika utrymmen ska utföras. Detta gör att teorin inte helt och hållet passar in på den valda situationen.

Vid Forsmarks kraftstation är mänskliga ingrepp i drift och anläggningen noga kontrollerade genom instruktioner, procedurer och granskningar för att undvika fel. Också analysarbetet styrs av instruktioner, och så även analys av mänskliga ingrepp, genom rapporten "Metodbeskrivning för dataanalys (HRA för effektdrift)". Denna metod har använts som guide för föreliggande analys, och kompletterats med djupare beskrivning av metodiken genom Kirwan "A Guide to Practical Human Reliability Assessment". Utöver dessa har även den amerikanska tillsynsmyndigheten inom kärnkrafts, *Unitet States Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC)*, övergripande guide avseende metodik för Brand-PSA, och som delvis omfattar just analys av mänskliga ingrepp i samband med brand, "Post-fire Human Reliability Analysis" studerats [26, 8, 39].

*Huvudsyftet* med en mänsklig tillförlitlighetsanalys (HRA) är att förutse mänskliga felhandlanden i en specifik uppgift samt utreda vad dessa felhandlanden kan ge för konsekvenser. Målen med analysen kan enligt Kirwan (1994) sammanfattas i tre punkter [8]:

- Identifiering av mänskligt felhandlande (Vad kan gå fel?)
- Kvantifiering av mänskligt felhandlande (Hur ofta gör en människa fel?)
- Reducering av mänskligt felhandlande (Hur kan man förhindra felhandlandet eller minska konsekvensen av detsamma?)

Mänskliga tillförlitlighetsanalyser som utförs på Forsmark kraftstation är en integrerad del av PSA, och den övergripande strukturen kan beskrivas genom följande arbetssteg [26]:

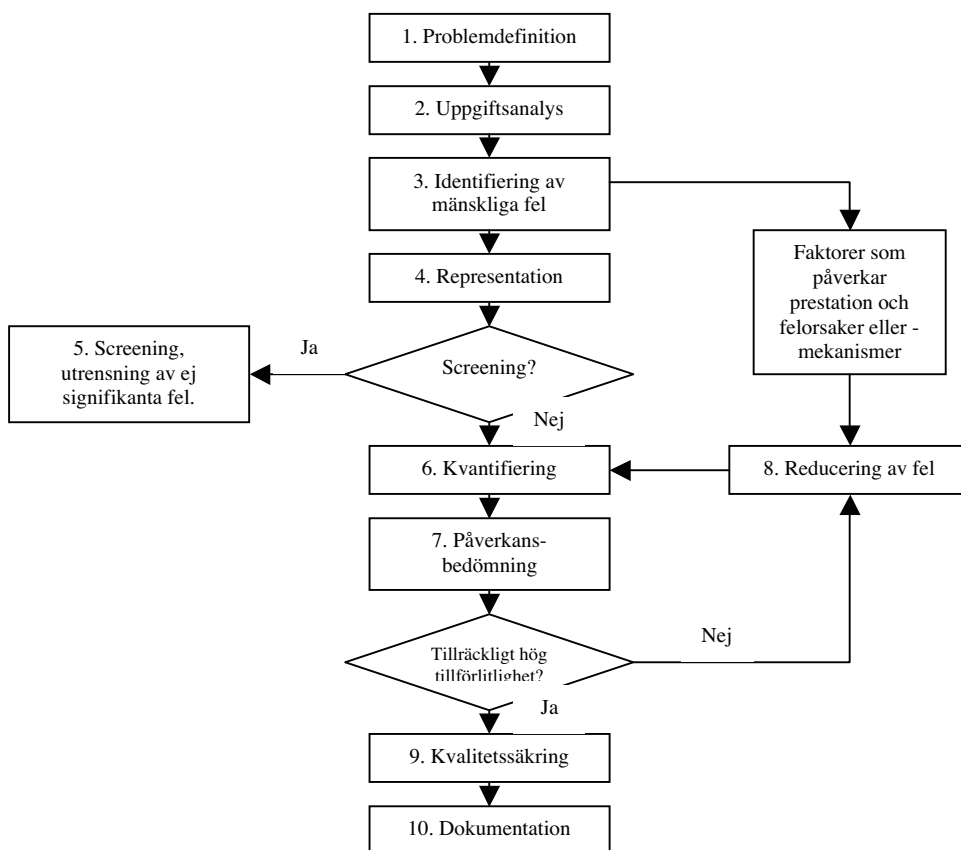
1. Identifiering och gallring av ingrepp.
2. Kvalitativ analys av ingrepp.
3. Modellering av de valda ingreppen i PSA-modellen.
4. Kvantifiering av de modellerade ingreppen baserat på den kvalitativa analysen av ingreppen. (Screening, kvantifiering).
5. Beroende av resultaten från kvantifieringen görs eventuellt en fördjupad analys av de ingrepp som har stor betydelse för risken för härdskada eller radioaktivt utsläpp (nivå 1 eller 2).
6. Dokumentering av analyser.

Identifieringen av ingrepp sker genom att studera störningsinstruktioner, genom händelseträdsanalyser och i samband med systemanalyser. De frågor analytikern ställer sig är a) vilka problem kan uppstå, b) hur kan operatören hjälpa till och c) hur kommer instruktioner in i bilden? [26]

Alla ingrepp antas ha tre successiva steg: identifiering av situationen, beslutsfattande rörande vilken åtgärd som ska genomföras och själva åtgärden. Misstag i någon av dessa steg tolkas som ett misslyckat ingrepp [26].

Eftersom HRA-beskrivningen som används inom FKA är inriktad på beslutstagande och agerande i centrala kontrollrummet, har denna studie låtit vägledas i högre grad av Kirwans, mer generella, beskrivning av analysprocessen.

För att undersöka mänskliga felhandlanden beskriver Kirwan (1994) hur arbetet kan utföras i en tiostegsprocess, se Figur 6 nedan. Denna process är generell, och delarnas innebörd kan variera beroende på vilken uppgift som analyseras [8].



**Figur 6: Kirwans HRA-struktur. [8]**

Som synes är arbetsgången strukturerad i olika delaktiviteter, från problemdefinition till dokumentation. Kirwan menar att några aktiviteter kan pågå parallellt, vilket till och med kan förhöja effektiviteten och kvaliteten. Därmed har denna studie viss mån följt arbetsstrukturen, men sedan kombinerat ett par av stegen. Exempelvis så utfördes uppgiftsanalys och identifiering av mänskliga fel parallellt.

Här nedan följer en genomgång av metoden, och hur den har varit behjälplig i analysen av manuell brandbekämpning på Forsmark 1.

### 3.2.1 Problemdefinition

En problemdefinition beskriver naturen och omfattningen av HRAn. Frågorna som besvaras är om HRA:n ska vara primärt kvalitativ eller kvantitativ, hur omfattande och djup den ska vara, om fokus ligger på abnormiteter eller om också underhållets påverkan på risknivån ska inkluderas [8].

För att inte under- eller övervärdera betydelsen av mänskliga fel i systemet menar Kirwan att det är viktigt att en HRA är omfattande, genomträngande och noggrann. En

begränsning för analytikern är att en analys aldrig kommer att kunna innefatta *alla* möjliga fel och felkombinationer som kan uppstå. Detta kommer av att det finns en oändlig variation av potentiella mänskliga handlingar. En HRA kan därmed sägas vara en *fördjupad analys av risker förknippade med en viss situation*, och kan inte ses som en metod att deterministiskt bevisa om ett system är säkert eller inte [8].

### 3.2.2 Uppgiftsanalys: Beskrivning av brandbekämpningsinsats

Uppgiftsanalysen är den del av processen där operatörens arbetsuppgift beskrivs, och hur operatörer interagerar med systemet och med varandra. I uppgiftsanalysen beskrivs vad operatören *förväntas göra*, uttryckt i handlingar och/eller kognitiva processer, för att uppnå systemets mål. Det primära målet för en uppgiftsanalys är att ge en detaljerad bild över människans inblandning i systemet, med hjälp av den tillgängliga informationen [8].

Kirwan (1994) beskriver flera olika typer av uppgiftsanalys. Beroende på vilket perspektiv analytikern har på problemet, väljs angreppssätt och analysmetod. Angreppssätten skiljer sig mellan olika typer av uppgiftsanalys, men syftet är detsamma: att strukturera och definiera uppgiften från valt perspektiv, så att aktuella uppgiften kan jämföras med idealet [8].

*Hierarkisk uppgiftsanalys* är en av de mest använda metoderna för uppgiftsanalys, vilken går ut på att bryta ned uppgiftens mål ner till de individuella handlingar som krävs för att målet ska uppfyllas. Strukturen påminner om ett felträd där detaljningsnivån blir högre ju längre ner i trädet man går.

*Critical incident technique* (CIT) innebär i att operatörer intervjuas för att kritiska moment ska identifieras. Typiskt ställs då frågan om operatören varit med om någon situation då, om förutsättningarna varit annorlunda, kunde det ha lett till en allvarligare händelse. Detta är för att framkalla minnen av händelser som skulle kunna vara lämpliga att ta med i en HRA, men som inte formellt har blivit rapporterade eftersom det vid tidpunkten inte innebar någon risk [8].

På Forsmark kraftstation är blockenheterna skyldig att rapportera rapportervärda omständigheter (RO), alltså en avvikelser från det normala läget som under ogynnsamma förhållanden bidrar till en ökad risk i systemet.

CIT-metoden är naturligtvis förknippad med bias/fördomar, vilket är något som analytikern måste hantera. Ideellt sett ska analytikern kontrollera yttranden med andra informationskällor, vilket inte alltid är möjligt. Under alla omständigheter är metoden främst till för att samla in information för vidare utforskning, och inte som underlag för en kvantitativ bedömning.

*Walk-through*, innebär att experterna går igenom ett hypotetiskt scenario och beskriver hur uppgiften skulle utföras. (Detta kallas talk-through om det utförs på annan plats än där händelsen skulle ha utspelat sig.) Det är en fördel att utföra denna på plats för att öka förståelsen hos analytikern och stärka personalens minne.

Syftet med en *tidslinje-analys* är att bestämma tider för alla scenarierelevanta uppgifter och relaterade händelser, och sedan beräkna den totala tiden för ett scenario. En

uppgiftssekvens bestäms av en tidigare genomförd walk-through. Sedan får tider för olika typer av systemreaktioner bestämmas genom data från PSA:n. Den största svårigheten med denna analys är att bestämma effekterna av en händelse som inte håller tiden "på schemat". Det finns en stor mängd kombinationer av händelser som kan fördröjas, och i praktiken är det svårt att bestämma vilka fördröjningar som ska modelleras [8].

Det finns ytterligare många analysmetoder för detta steg i analysen, men som uteslutits i denna sammanställning eftersom de inte är direkt tillämpbara i denna studie.

### 3.2.3 Identifiering av mänskliga fel

Vid intervjuer och rundvandringar identifieras en mängd fel som kan uppstå, både av teknisk och mänsklig karaktär. Denna fas är viktig, eftersom de fel som inte kommer med detta skede inte heller kan finnas med i den sammantagna riskbedömningen. Detta kan i sin tur leda till att risker underskattas [8].

En förutsättning för att kunna bestämma hur felet ska behandlas är att veta av vilken kategori av handling som de tillhör. I PSA kategoriseras mänskliga handlingar antingen som typ A, B eller C [26]:

- *Typ A*: Ingrepp som utförts innan en inledande händelse inträffar och som kan orsaka systemens otillgänglighet. (Latenta fel t. ex. på grund av testning och underhåll.)
- *Typ B*: Ingrepp som kan orsaka en inledande händelse.
- *Typ C*: Ingrepp som utförs efter en inledande händelse. (Till exempel vid en haverisituation. Dessa kan både avhjälpa och förvärra problemet)

Enligt Rasmussen kan mänskligt beteende klassificeras enligt den så kallade SRK-taxonomin (skill-, knowledge-, rulebased behaviour) [14].

- Skill-based: Handlingar som är inlärd och utförs nästan automatiskt utan att operatören behöver fundera på det. "Det sitter i ryggmärgen".
- Rule-based: Handlingar som utförs mera sällan, men som ändå är välkända för operatören. Direkta associationer mellan händelse och konsekvens gör att operatören kan tolka situationer och klassificera fel, och därmed använda sig av regler för att lösa problem.
- Knowledge-based: Handlingar på hög kognitiv nivå som kräver analytiskt resonande. Situationen kan vara ny för operatören och regler att använda sig av saknas.

Den ovanstående klassificeringen har ett perspektiv som utgår från kognitiva kunskaper om hur människor fungerar och uppfattar omgivningen. Ett mer tekniskt perspektiv är Swain & Guttman's klassificering i NUREG/CR-1278 (1983). Denna är den mest kända taxonomin [7]:

- Error of omission: Handling som krävs i en vis situation uteblir.
- Error of commission: Felaktig handling: handlingarna sker i fel ordning, vid fel tidpunkt eller är av bristande kvalitet.
- Extranous act: Felvald handling.



En fjärde vedertagen taxonomi är Reasons (1990) GEMS-modell (Generic error modeling system). Enligt Reason kan typen av misstag som en människa kan göra klassificeras i tre huvudgrupper [12]:

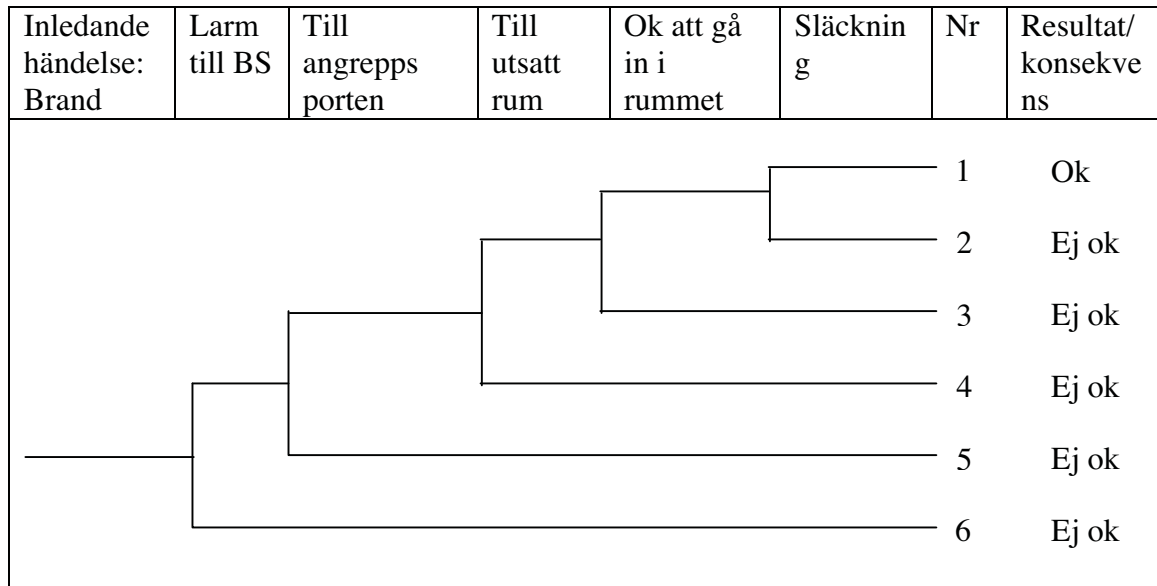
- Slips: En oavsiktlig felaktig åtgärd. Operatören tänkte rätt men ”råkade” ändra på fel reglage.
- Lapses: Handlingen uteblir, operatören misslyckas med att utföra handlingen.
- Misstag: Mer allvarliga fel. Situationen misstolkas och fel åtgärd genomförs.

Error of omission kan sägas vara en typ av slips, errors of commission en typ av lapses eller misstag. Misstag kan vara svårare att upptäcka eftersom operatören har felaktig bild av situationen [12].

### 3.2.4 Representation

I PSA är det vanligt att representera en händelse (någon form av störning i driften) i form av felträd och händelseträd. Dessa två representationsformer fyller två olika funktioner. Ett händelseträd visar en händelseutveckling, vad som kan ske efter en inledande händelse (till exempel brand). I ett felträd analyseras sannolikheten för en viss (oönskad) händelse som definieras som topphändelse. Ett felträd är en logisk struktur för vilka fel i systemet som tillsammans kan leda till topphändelsen, beskrevs närmare i kapitel 3.1 [3].

Ett händelseträd över en manuell brandinsats kan visualiseras som nedan:



Figur 7 Händelseträd, en logisk struktur över en manuell släckinsats.

Representationen av en uppgift kan sedan ligga till grund för analysarbetet.

### 3.2.5 Kvantifiering

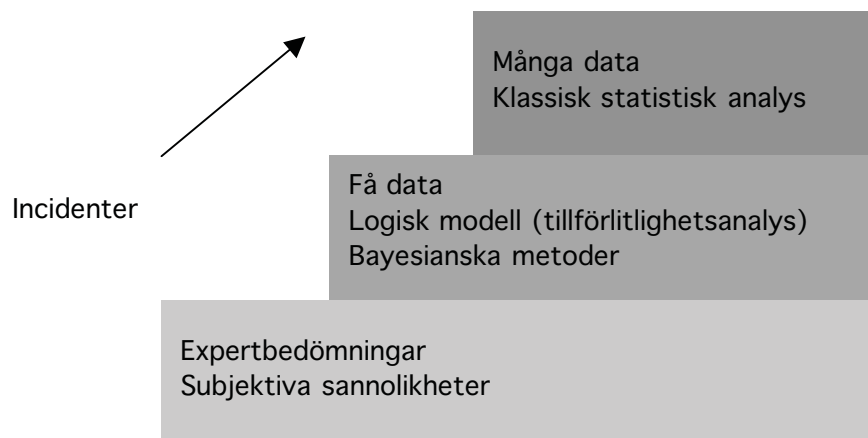
För att kunna komma till användning i PSA-modellen måste de identifierade felen kvantifieras, alltså värderas i siffror. Enligt Swain finns det huvudsakligen två alternativa sätt att kvantifiera risken för olika typer av felhandlande, att använda sig av

*feldata* från skarpa situationer eller att använda *simulerad data* (från övningar i verklighetstroga simulatorer). Båda sätten har både för- och nackdelar. Tillförlitligheten i kvantifieringar som bygger på verkliga *feldata* har potential att bli god, givet att sådan data finns tillgänglig. Problemet är ofta att *feldata* ej registreras i tillräcklig mängd vid en anläggning. Det är inte heller säkert att data från en anläggning kan generaliseras och sägas gälla för andra anläggningar [13].

Datakällor som utgörs av exempelvis *simulerad data* och data från experimentella laboriebaserade studier, är förknippad med två typer av problem: det ena är att simulatorer nästan enbart används för träning eller för återcertifiering av operatörer. Detta medför att personal som går in i en simulator är motiverade och redan beredda på övning. Ofta är de redan förberedda på vad övningen kommer att handla om, och vet alltså i förväg vilket scenario de kan förvänta. Den här typen av träning är bra för att operatörerna ska få en realistisk övning, men att använda data från träningen till att bedöma felsannolikheter blir lätt missvisande. Det andra problemet är att laboriestudier av mänskligt felhandlande ofta fokuserar på några oberoende variabler. Det skiljer sig från den industriella verkligheten där flera ”performance shaping factors” verkar samtidigt. Och testpersonerna är motiverade, och studeras under begränsad tid [8].

Dataproblem av de här slaget har lett fram till ansatser som inte inkluderar *feldata*. Det vanligaste är då att använda *expertutlåtande*. Fördelen med *expertutlåtande* är att de har möjlighet att gå in mer på djupet när det gäller att diskutera påverkan av så kallade performance shaping factors (PSFs) (Kumamoto och Henley). Problemen ligger i att personer som är experter på sitt område inte nödvändigtvis också har goda kunskaper om statistik för att bedöma sannolikheter [8].

Eftersom olyckor i form av stora systemkollaps inträffar sällan beskriver Holmgren och Thedéen (2003) en informationstrappa, se Figur 8 nedan, som visar vilken metodik som används vid datainsamling. Då få data finns tillgängliga används logiska modeller som exempelvis felträd och händelseträd som beskrivits i kapitel 2.1 och 3.3.4 (mittsteget i trappan). Ibland kan man utgå från *incidenter* som kan utgöra grunden för en statistisk analys (översta steget i trappan). Dock finns det sammanhang där det saknas relevant empirisk data för att göra analysen. Detta motsvarar det nedersta steget i informationstrappan, som utgörs av subjektiva *expertbedömningar* [3].



**Figur 8: Informationstrappan – skattning av sannolikhet [3].**

Holmgren och Thedéen påpekar dock att även på de övre stegen i skattningstrappan sker bedömningar i form av val av modeller och data [3].

*Absolute probability judgement* kallas den metod då man tar experter till hjälp för att bestämma sannolikheter. Det kan ske i varierande utförande, enskilt eller i grupp. Metoden kräver först och främst att experten kan sitt område. Utöver det behövs att experten har viss kunskap om sannolikhetsteori för att kunna uttrycka sin expertis i kvantifierad form. Av denna anledning kan det vara till nytta att experterna får diskutera i grupp och komma fram till konsensus.

Devisen ”två hjärnor är bättre än en” är användbart i sammanhanget och litteraturen föreslår fyra olika typer av insamling av expertutlåtande [8].

1. Aggregerad individuell metod
2. Delphi-metoden
3. Nominell grupptechnik (nominal group technique)
4. Konsensus-metoden

Den aggregerade individuella metoden innebär att experterna gör egna utlåtanden, oberoende av varandra, som sedan matematiskt sammanräknas till ett medel. Denna metod rekommenderas inte främst, eftersom ett visst samarbete vid framtagning av sannolikheterna anses höja kvaliteten. Delfimetoden är ytterligare en anonym metod där gruppen bedömer individuellt varpå alla bedömningar visas för hela gruppen experter. Därefter får alla göra nya bedömningar och eventuellt ändra sina, om personen kommit på något som bör ändras. Den tredje metoden, ”nominell grupptechnik” påminner om Delfi, men tillåter experterna att diskutera innan var och gör sin andra, individuella, bedömning [8].

Den fjärde metoden, vilken är den Kirwan rekommenderar, är att samla experter i en liten grupp och låta alla komma till tals. Gruppen ska sedan enas om en sannolikhet för varje händelse. Beroende på hur gruppen är sammansatt och andra omständigheter kan svaren påverkas.

### **3.2.6 Påverkansbedömning**

Genom att beräkna vilken effekt kvantifieringen av HRA:n har på det totala systemet, och om de mänskliga ingreppen står för en stor del av osäkerhet i systemet, kan bedömning göras om tillförlitligheten är på en acceptabel nivå. Om så inte är fallet måste åtgärder för att minska sannolikheten för att fel inträffar i analyserade scenarier vidtas [8].

### **3.2.7 Felreducering**

Olika sätt för att minska felfrekvensen för mänskliga ingrepp kan vara att utökad och/eller förbättrad träning av operatörer införs. I en del fall kan även anläggningen behöva förändras med avseende på användargränssnitt eller instruktioner [8].

Efter felreducering görs en ny kvantifiering och bedömning av tillförlitligheten.

## 4 Analys av brandbekämpning på Forsmark 1

### 4.1 Problemdefinition

Målet med brandbekämpningsinsatsen är att släcka branden, och begränsa att den sprider sig till intilliggande sub, alternativt isolera den till avgränsat utrymme (rum eller brandcell). Målet med HRA:n är att ta fram sannolikheten för att förlora systemfunktionen i rummet, alternativt förlora ena subens funktion i de fall där det drabbade rummen innehåller två subar.

Denna analys av mänsklig tillförlitlighet vid manuell brandsläckning har som utgångspunkt att brand uppstått i ett av de, i PSA-studien identifierade rummen med minst barriär mot härdskada. Frekvens för att brand uppstår eller identifiering av brandkälla ingår inte i studien. Brandkällan antas vara transient, alternativt bero på att en kortslutning i ställverk leder till brand i kablar eller transient brandbelastning.

Brandförloppet sätter ramen för hur lång tid som finns till förfogande för brandstyrkan innan uppgiften anses som misslyckad. Denna påverkas av utrymmets storlek, brandbelastning och syretillgång. Eftersom ingen brandteknisk analys genomförts görs en uppskattning grundad på tidigare brandanalyser i liknande utrymmen.

### 4.2 Uppgiftsanalys

Förutsättningen för denna analys är att en brand antas ha uppstått i ett av de utrymmen som har minst barriär mot härdskada. Rummen (42 stycken) har identifierats inom befintlig PSA för brand, för Forsmark 1.

I PSA antas att en brand i ett visst utrymme medför att alla funktioner i rummet slås ut. Detta innebär att vid brand slås även de funktioner som är beroende av de kablar som går genom rummet, ut. Genom att ta hänsyn till detta har man kunnat identifiera de rum som i händelse av brand skulle orsaka störst skada på säkerhetssystemet. Tilläggas kan att dessa rum oftast tillhör en kategori av rum som har en lång historia av få incidenter (bränder) eftersom de i princip saknar antändningskällor. Rummen är av typen kabelschakt, apparat- och relärum, ställverksrum och ett avlastningsplan.

I uppgiftsanalysen har främst ”walkdowns”, hädanefter kallade ”rundvandringar”, använts. Eftersom brandstyrkan består av fyra grupper, som är i tjänst var fjärde dygn, genomfördes totalt fyra hela rundvandringar med brandstyrkan. Utöver detta genomfördes två rundvandringar med stationstekniker, varav den ena tillsammans med brandstyrkan. Rundvandringarna inleddes med en kort presentation av syftet med studien, och en genomgång av tillvägagångssättet. Vid dessa tillfällen närvarade hela brandskiftlaget (fem personer). Därefter följde två brandmän med för att titta på utrymmena (vid två tillfällen följde hela brandstyrkan med under ena halvdagen). Rundvandringarna gjordes under vardera två halvdagar, de gånger då det var möjligt utfördes båda dessa under en och samma dag.

Resultatet av rundvandringarna var dels att analytikern (jag) fick en bättre förståelse för själva brandbekämpningsinsatsen och hur den ska utföras, samt vilka problem som kan

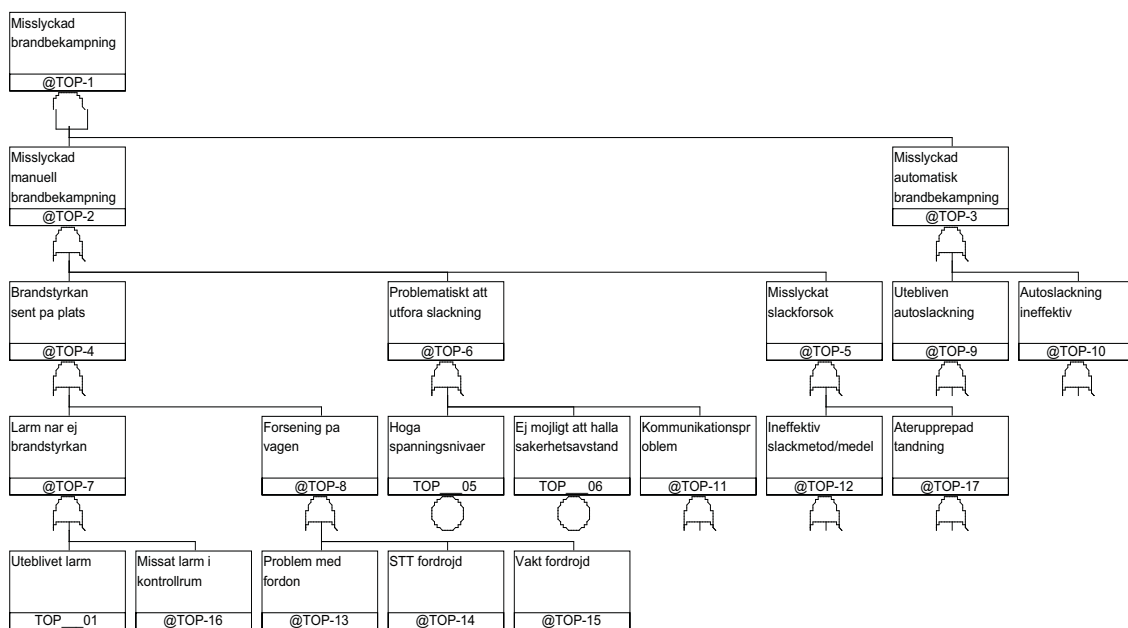
uppkomma under en insats (identifiering av problem). Den manuella brandbekämpningsinsatsen har beskrivits mer detaljerat kapitel 2.4.

### 4.3 Identifiering av mänskliga fel

Denna studie innefattar typ C-händelser som beskrivs i kap 4.4. Vanligast i HRA är att endast errors of omission beaktas, dvs att endast uteblivna förväntade handlingar beaktas. Errors of commission är betydligt svårare att analysera på grund av komplexiteten i vad som kan utlösa en oföfogad eller felaktig handling.

I PSA-modellen behandlas inte manuell brandbekämpning separat, utan alla utrymmen ges samma sannolikhet för utbränning om brand uppstår. I denna studie har problemet gjorts mer detaljerat genom att bryta ner händelsen i delhändelser (ungefär som hierarkisk uppgiftsanalys). Brandbekämpningen ses som en sekvens av många enskilda händelser, som både beror på människors handlingar, tekniska förutsättningar och omgivningen (rumsgeometri, faror och brandbelastning, till exempel).

Det vanliga angreppssättet vid beräkning av kvantifierade risker är att bygga upp ett felträd av möjliga händelser som kan gå fel och därmed leda till topphändelsen. Detta tillvägagångssätt har prövats inför modellering av felsannolikhet till topphändelsen ”misslyckad brandbekämpning” utan tillfredsställande resultat. Toppstrukturen skulle kunna se ut som följer:



**Figur 9 Förslag till toppstruktur för händelsen ”misslyckad brandbekämpning”. Figuren innehåller eller-grindar, men i verkligheten är det inte självklart vilket logiskt samband som gäller.**

Bidragande orsaker till att brandbekämpningen misslyckas kan vara problem med larmmottagningen, att larmet uteblir, missas eller inte når brandstyrkan. I de rum som automatiskt släcksystem finns installerad krävs att den inte fungerar eller inte rår på branden för att brandbekämpningen ska misslyckas. Om brandstyrkan är sent på plats, och branden har hunnit bli omfattande minskar möjligheten till snabb släckning. Det

kan vara problematiskt att utföra manuell släckning om till exempel utrymmet är spänningssatt, trångt eller av annan anledning gör det svårt för brandstyrkan att ta sig in. Släckmöjligheten begränsar sig då till metoder som kan användas från dörren: skumsläckning eller pulver (beroende på bland annat rumsgeometri). Trots att brandstyrkan är på plats och kan gå in finns det alltid risk för att elden motstår inledande släckförsök, en variant av det är återupprepad tändning som kan ske exempelvis om upprepade ljusbågar uppstår.

Problemet vid modellering är att ingen av dessa noder är ”definitiva”, utan orsakar främst tidsfördröjningar i brandbekämpningen. Till exempel är det möjligt att detektorer felar, vilket skulle leda till en fördröjning tills nästa detektor larmar (flera larmar oftast nästan samtidigt). Vid en brand kommer det ofta en skur av olika larm samtidigt, beroende på att utrustning påverkas [36]. Likaså leder andra händelser till att släckinsatsen försenas, men det går inte att peka ut en kombination som med bestämdhet leder till att insatsen misslyckas. Det är också möjligt att en fördröjning i processen ”kompenseras” av att brandutvecklingen går långsamt eller att en annan del i händelsekedjan går snabbt.

I enlighet med en metodik för bedömning av brandbekämpningsinsatsen som togs fram i Barsebäck inom projektet ”Yttre händelser” 1996 valdes ett angreppssätt som bygger på att tiden för delar i processen summeras och jämförs med en tidpunkt för när branden antas ha slagit ut en av subarna, och en tidpunkt för när båda subarna antas vara utslagna. Brandbekämpningsprocessen har delats upp i etapper för att underlätta analysen [28]. Till skillnad från den analys som genomfördes 1996 används fem etapper istället för fyra. Detta eftersom erfarenheter från branden i Forsmark 2, 2005, visade att den mest tidsödande delen i processen (fas 4) annars kan förbises.

För att strukturera upp tidsaxeln delades brandbekämpningsprocessen in i fem faser:

1. Från branddetektering till dess att brandstyrkan mottagit larmet.
2. Från mottaget larm tills brandstyrkan, stationstekniker och vakt förflyttat sig till rätt angreppsport.
3. Från angreppsport tills rökdykargruppen och stationstekniker tagit sig till brandrummet. (Brandförman och chaufför stannar ute tillsammans med vakten.)
4. Från det att rökdykargruppen är framme vid rätt dörr tills brandbekämpningen kan inledas.
5. Själva brandbekämpningen.

### **4.3.1 Beskrivning av problem förknippade med specifika utrymmen**

I detta delkapitel presenteras de olika utrymmena med brandstyrkans perspektiv på vilka problem som kan hindra i en brandbekämpningsinsats. Dessa aspekter har framkommit under de ”walkdowns” (hädanefter kallad ”rundvandringar”) som genomfördes under vecka 50 och 51, 2007. Informationen i dessa beskrivningar kommer från dessa rundvandringar då inget annat anges.

#### **4.3.1.1 Apparatrum**

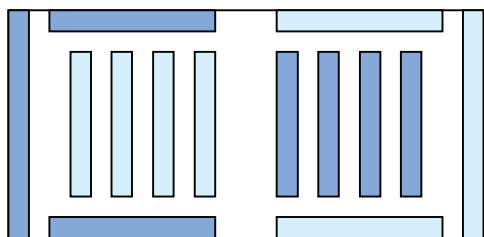
I apparatrummen finns elskåp utmed väggarna och i tvärgående rader. Det finns förhållandevis gott om utrymme mellan skåpen. Skåpen är av äldre modell, med ett förberett hål i överkant där ett speciellt munstycke på kolsyresläckarna passar in. På så

sätt kan brandbekämpning i ett enskilt skåp genomföras förhållandevis enkelt. Eftersom utrymmena är stora kan en brand vara svårlokaliserad.

För att en större brand ska uppstå i utrymmena krävs att externt material tillförts och att skåpssluckor lämnats öppna.

Ändar från kablar som håller på att avlägsnas ur anläggningen hänger på några ställen ner från taket. Det är ingen spänning över dessa, men brandmännen påpekar att det är typiskt något som kan framstå som en potentiell risk vid en insats. Kabelstumparna skulle kunna misstas för att vara avbrunna spänningssatta kablar.

Figur 10, nedan, visar principiellt placeringen av elskåp i apparatrummen. De olika nyanserna symboliserar olika subar. Som synes är risken för sammanblandning stor om rökdykare ska ange vilken sub som är utsatt för brand. Det är inte heller möjligt att dela av rummen med en sub på varsin sida av respektive rum. Utrymmena saknar automatiskt släcksystem.



**Figur 10: Subplacering i apparatrum (bilden är ej skalenlig)**

#### 4.3.1.2 Relärum

Relärummen är placerade rakt ovanför apparatrummen och innehåller reläskåp placerade i tvärgående rader. Väggarna är fria, vilket gör att utrymmet är rymligt och rökdykning kan ske relativt riskfritt. Från dörren går det bra att hålla säkerhetsavståndet 3 meter till spänningssatta komponenter. Eftersom rummet är förhållandevis stort kan dock branden bli svårlokaliserad, speciellt om brand i ett skåp har orsakat kraftig rökutveckling. Utrymmena saknar automatiskt släcksystem.

#### 4.3.1.3 Ställverksrum

Ställverksrummen är förhållandevis små, med elskåp placerade längs med bägge långsidor. Automatiskt släcksystem saknas. Det finns driftinstruktioner för hur respektive utrymme kan göras spänningslöst genom att slå av en till fyra brytare (beroende på utrymme). Detta kan dock inte göras från kontrollrummet, utan måste göras från en eller flera platser ute i anläggningen [19, 36]. Även om denna information finns tillgänglig är det inte självklart hur personalen ska handla i olika situationer. Händelsen 2005 visar att även om brandstyrkan ville ha utrymmet spänningsfritt för att utföra släckning uppnåddes inte detta [16].

#### 4.3.1.4 Kabelvåningar

Kabelvåningarna är helt fyllda med kablar, dragna horisontellt genom rummen i olika vinklar. De flesta kablarna är placerade i plåtlådor för att skyddas mot flammor och yttre åverkan av annat slag. Kraftkablar med högre spänning är monterade på kabelstegar, utan lådor. Dessa finns högre upp i rummen, men på somliga ställen är



även kraftkablar dragna lågt. Mellan kabelstegarna finns smala passager. Ibland går stegar så pass lågt att personal tvingas huka sig eller krypa för att komma fram. På vissa ställen går passagen över kablarna, så att personalen får klättra. Kablar tillhörande både A- och C-sub eller B- och D-sub finns i respektive rum, och på vissa ställen korsar dessa varandra. I utrymmena finns ingen automatisk brandbekämpning installerad.

Reaktionen från brandstyrkan var liknande i samtliga fall. Den enhetliga uppfattningen var att brand i ett sådant utrymme skulle vara mycket svårt att bekämpa. Det är problematiskt att utrymmena är helt fyllda av kabelvägar med smala gångar. Vid en brand måste brandstyrkan kunna hålla säkerhetsavstånd till sådana för att inte riskera att få ström i sig. Säkerhetsavståndet är olika beroende på vilken typ av släckteknik som används och vilken spänning kablarna har (se vidare avsnitt 2.5.2).

Det främsta problemet i just dessa utrymmen är dock att det, *även om de vore spänningslösa*, skulle det vara svårt för rökdykarna att ta sig fram. Vid kabelbränder utvecklas snabbt giftig och ogenomtränglig rök, och man kan förutsätta att sådan rök vid en brand i dessa utrymmen snart skulle fylla rummen, och medföra att sikten blir dålig, eftersom rökejektorer saknas. Rökdykarna ska ta sig fram krypande och (om möjligt) hålla vänster hand i väggen för att orientera sig. Med sig ska rökdykaren ha vattenslangen, vilken ska fungera som säkerhet, och användas om rökdykaren måste ta sig tillbaka eller letas upp av kollegor. Problemet i dessa kabelvåningar är att slangen troligen kommer att fastna efter några krökar, och att risken för att komma vilse i utrymmena är stor.

Brandstyrkan har en värmekamera, som mäter temperatur på distans, vilken kan användas för att lokalisera brand i utrymmen. Ett problem med denna är dock att man måste träffa exakt rätt föremål för att inte få fel temperatur angiven. I utrymmen som är trånga, med kabellådor placerade framför, bredvid och bakom, varandra är metoden osäker. Vid dålig sikt i rummet kan det vara svårt att veta om man träffat den främre eller bakre kabelstegen.

I studien ingår ytterligare en specifik typ av kabelvåning som är något mindre än de tidigare nämnda. Likt de större kabelvåningarna är även de mindre väl fyllda med kabelstegar, både vertikalt och horisontellt. Dörrar finns i två ändar av rummen. I ett av utrymmena går det dock inte att gå mellan dörrarna. Utrymmena har inte automatisk släckning.

#### **4.3.1.5 Kabelschakt**

Studien inkluderar kabelschakt i både el- och reaktorbyggnaden. De sistnämnda är rymliga på nedersta planet (01) men något trängre på planen högre upp. Kabelschakten i elbyggnaden är trånga vilket medför att det är svårt för brandstyrkan att nå den sub som placerats längst bort från dörren. Direkt innanför dörren finns dock ett kvadratmeterstort utrymme att stå på, alldeles intill första subens vertikala kabelstegar. För att nå sub nummer två måste en rökdykare tränga sig mellan kabelstegarna, vilket är en omöjlighet med lufttuber på ryggen.

Angreppsvägen till E1-planet måste gå via det över eller under under, eftersom dörr saknas på första planet. Kabelschaktet är utrustat med sprinkler.

#### 4.3.1.6 Kabelkulvertar

I studien ingår ett flertal olika kabelkulvertar som innehåller två subar. Den, första typen av två-subat kabelutrymme är de utrymmen som ligger närmast kontrollrummet. Det ena rummet är ett stort utrymme med högt i tak. Insatsvägen är inte fördelaktigt utformad eftersom dörren är placerad högt upp, nära taket, varifrån det endast är möjligt att ta sig ned genom att klättra på en stege. Om utrymmet är rökfyllt är det svårt att ta sig in.

Motsvarande utrymme för de andra två subarna är mindre till ytan och endast på ett plan. Angreppsvägen är inte heller här fördelaktig eftersom det är trångt vid dörren. En rökdykare skulle behöva klättra över kabelstegar och samtidigt ducka. Utrymmet är utformat med avskiljande väggar som hindrar brandspridning. Dessa gör dock att det blir svårare att genomsöka utrymmet och lokalisera brand från avstånd med värmekamera. Dessa utrymmen är utrustade med vattensprinkler.

De övriga typerna av kabelkulvert inom denna kategori kallas nedan för ”kabelkulvert 1”, ”kabelkulvert 2” och ”kabelkulvert 3”.

Problemet med ”kabelkulvert 1” är att den ligger avlägset från alla angreppsportar. Att hitta dit kräver god anläggningssäkerhet. Även en erfaren stationstekniker kan ha problem med att gå rätt i en stressad situation. Följs rätt väg måste ändå omkring 250 meter tillryggaläggas för att komma längst in. Det är därmed inte säkert att en rökdykargrupp klarar att ta sig igenom de långa korridorerna om dessa rökfylts. Detta medför att brandstyrkan kommer att behöva vänta in förstärkning från Östhammar för att klara av att göra insatsen. Det fördröjer insatsarbetet med omkring 25 minuter, givet att inte Östhammars räddningstjänst är ute på annat uppdrag eller för tillfället befinner sig längre bort. Skulle angreppsvägen inte ha hunnit bli rökfylld kan insats påbörjas med det samma.

”Kabelkulvert 2” är motsvarande tvillingutrymme till kabelkulvert 1. Angreppsvägen till denna är kortare för kulvert 1. I båda dessa kulvertar går kablar mellan E- och D-byggnaden. Kulverten skiljs mellan E och C med en låst grind, och mellan C och D byggnaden av en vägg och dörr, men som inte är klassad som brandcellsgräns.

Insatsvägen till ”Kabelkulvert 3” går genom en kvadratmeterstor lucka, cirka en meter upp från golvet. För att klättra in måste rökdykaren ta av sig lufttuberna, vilket upplevs som störande och krångligt.

#### 4.3.1.7 Avlastningsplan för lyftschakt

Avlastningsplan för lyftschakt är ett öppet utrymme där kablar går ut från det intilliggande schaktet och vidare ut i reaktorbyggnaden. De två subar som är placerade i utrymmet är dragna över varandra med ca en meters mellanrum, avskilda med gipsskivor. I utrymmet finns en gräns till högre strålskydd, med tillhörande ombytestplats. Detta kan medföra en anmärkningsvärd risk, om korgar med nya eller använda skoskydd av misstag eller okunskap placeras under kablarna.

#### 4.3.1.8 Korridorer

Den allmänna risken med korridorer är att det är lätt att placera saker tillfälligt i dem, och att dessa sedan glöms bort att flyttas. Det kan även vara svårt för icke

reaktorsäkerhetskunniga personer att inse att en korridor vid en brand kan vara kritisk med avseende på reaktorsäkerheten.

Korridor 1 är en låst korridor med två subar som passerar igenom, dragna längs med taket. Kabeldragningarna är placerade i plåtlådor, vilket utgör ett flamskydd. Dessa lådor går dock inte tätt intill väggen, vilket gör att det finns ett par decimeter blottad kabel närmast väggen. I korridoren finns, förutom kabeldragningarna, gastuber med nitrogen, till en tryckluftscentral. Tuberna måste evakueras vid händelse av brand, eftersom explosionsrisken är stor vid kraftigt förhöjd temperatur.

Korridor 2 liknar korridor 1, men saknar gastuber. Kablar till den ena suben är helt inkapslade i en låda av gipsskivor. Branddetektorn är placerad på insidan av lådan.

#### **4.3.1.9 Generella problem**

Generella problem som kan stötas på vid en brandbekämpningsinsats sammanfattas i Tabell 3 nedan. Dessa är indelade efter de faser som beskrevs i avsnitt 5.3, alltså mottagning av larm, transport till angreppsport, förflyttning till utsatt rum, förberedelse och släckning.

Det är av stor vikt för kontrollrumspersonalen att hela tiden få korrekt information om vad som händer på anläggningen. Följden av att en brand i ett kabelutrymme orsakar kabelbrott på kraftkabel som förser till exempel en pump med ström, är förhållandevis lindrig. Säkerhetssystemet kan fånga upp detta och starta en ny pump. Mer problematiskt för kontrollrummet är det att tappa styrning av, och information om denna komponent, vilket förmedlas genom signalkablar. Om kabelbrott leder till att kontrollrummet inte kan veta vilka system som är igång försvårar det kontrollrumspersonalens arbete betydligt [35, 36].

De identifierade händelserna utgörs främst av tekniska hinder som skulle kunna fördröja processen. Sedan utgör osäkerheter vid val av släckmetod och spänningslöshet ett bidrag till kvantifieringen. De identifierade problemen sammanfattas i Tabell 3, nedan.

**Tabell 3: Identifierade felkällor till brandbekämpningsprocessen, som kan leda till att arbetet fördröjs eller misslyckas.**

Fas 1			Fas 2	Fas 3	Fas 4	Fas 5	
Larmmottagning KR	Larm till BC	Larm till brandstyrka	Till angreppsort	Till brandrum	Klart för släckning	Autosläckning	Brandbekämpning
Detektor trasig	Fel på telefonen	Fel på personsökare	Fel på bilen	STT försenad	Hög spänning i rummet, osäkerhet som spänningen är frånslagen.	Fel på sprinklersystem	Slangen för kort
Detektor inställd fel	Fel på Forsmarksradiation (dåligt batteri?)	Fel på Forsmarksradiation	Punktering	Vakten (som öppnar porten) försenad	Farlig utrustning i rummet, såsom gasflaskor eller aktivitet	Fel på dysor	För trångt för att ta sig fram
Fel på CDA (strömlöst?)	Missförstånd	Fel på stationslarm	Fel på grindar	Går fel, eller omväg (fel våning, kanske)	Svärtydda skyltar/info	Tillfällig aluminiumplank täcker dysor	Fel på lampor
Larm upptäcks inte		Fel på räddningstjänst-radio	Kör till fel port	Rök i korridor	Lång inträngningsväg – invänta Östhammar	By-passen fungerar inte eller kan inte hanteras	Fel på savoxkabel
Problem med att uttyda brandlarmsdatorn		Missförstånd	KR har inte radion på "Brand 1"		Brandpersonal har dålig kännedom om rum (beroende på grupp/block ordinarie/vikarie)		Radioskugga
		(Fel på mobiltelefonen)	Dåligt väglag		Brand har inte kännedom om tillfälliga brandlaster		Fel på kommunikationsutrustning leder till avbruten rökdykning
			Personalen utspridd eller långt bort		Släckare finns ej att tillgå		Gammalt skum eller fel skumblandning
					Långt avstånd till brandpost		
					Osäkerhet rörande vilken släckmetod som är bäst.		

## 4.4 Representation

Som nämndes i föregående avsnitt har brandbekämpningsinsatsen fått representerats i form av en tidssekvens i fem faser enligt Figur 11 nedan.

Larmmot- tagning	Brandstyrka vid angreppsport	Rökdykargrupp vid brandrum	Förberedelser vid dörren	Släckning
1 minut	+ 3,5 min	+ 0,5 min	+1 min	+ 5 min

*Totalt 11 minuter, motsvarar  
en snabb insats*

**Figur 11: Brandbekämpningsinsatsen delas in i fem faser**

Grundscenariot för en insats som genomförs utan att några hinder på vägen dyker upp, bedöms ta elva minuter. Detta är dock en optimistisk bedömning som i de flesta fall inte kan hållas. För varje fas i brandbekämpningen har problem identifierats som kan komma att fördröja en insats. I nästkommande avsnitt, kvantifiering, beskrivs hur dessa problems inverkan på processen värderats.

För att bestämma om en brandbekämpning lyckats eller ej jämförs den erhållna insatstiden med ett tidsgränser för när vardera sub antas förloras. Det finns olika typer av brandspridningsmodeller som används i industrin för att till exempel verifiera att brandcellsgränser upprätthålls, eller funktionen av skärmning och avståndsspererering. Som nämnts ligger brandspridningsanalysen utanför denna studies ramar. Tidsgränserna är valda efter studie av brandspridningsanalyser utförda på andra anläggningar. Dessa presenterades av det amerikanska företaget Fauske, vilka har utvecklat ett analysverktyg för brandspridningssimulering som används inom kärnkraftsindustrin, under ett seminarium i november 2007 [40]. Ena suben i ett specifikt utrymme antas vara förstört efter 20 minuter, och den andra suben antas vara förstörd efter ytterligare 10 minuter.

## 4.5 Kvantifiering

Säkerhetsnivån i en anläggning kvantifieras genom att beräkna frekvensen för en händelse på en viss nivå (nivå 1-3 som beskrivits i kap 3.1). I den probabilistiska säkerhetsanalysen vid Forsmarks kraftstation ska den beräknade frekvensen för att få en kombination av fel i anläggningen som kan leda till härdskada understiga  $10^{-5}$  fall per driftår (nivå 1). Frekvensen för stora utsläpp av radioaktivt material skall understiga  $10^{-7}$  fall per driftår (nivå 2) [41].

För att samla in data till den kvantitativa studien gällande brandbekämpning i kritiska utrymmen på Forsmark 1 föll det sig naturligt att använda expertutlåtanden. Det finns ingen databas för händelser förknippade med brandsläckning, och att göra tester föll utanför rimlighetens gränser.

Insamlingen av expertutlåtande har i möjligaste mån följt Kirwans rekommendation (med en expertgrupp som når konsensus). Det har inte varit praktiskt möjligt att samla alla brandmän vid ett tillfälle eftersom de är indelade i fyra grupper som arbetar rullande var fjärde dygn. (Kirwan föreslår dock grupper bestående av ett begränsat antal personer). Varje skiftlag har fått arbeta tillsammans, antingen hela gruppen gemensamt, eller två och två. Sedan har resultaten från sammanlagt nio utlåtande insamlats och aggregerats.

Det som skiljer studien av brandbekämpningen från studier av kontrollrumsarbete till exempel är att det är nästan omöjligt att definiera en sekvens av händelser som är korrekt.

Ett problem i utformningen av frågeformuläret var att hålla frågorna på en tillräckligt detaljerad nivå för att göra dem svarbara och samtidigt ge förutsättning för att respondenterna skulle tolka frågorna ungefär lika. Samtidigt fanns en önskan om att låta frågorna vara så pass generella så att de kunde gälla för flera rum samtidigt. Resultaten blev mycket skiftande på de frågor, där alltför stort eget tolkningsutrymme getts, vilket otvivelaktigt ledde till olika tolkningar. Denna osäkerhet påverkar därmed den totala osäkerheten hos kvantifieringen, eftersom den vägts in i uppskattningar av sannolikhets- och tidsintervall, se avsnitt 4.4.3.

#### 4.5.1 Modelleri ng i @Risk

För att implementera den stokastiska modellen har ett tillägsprogram till Microsoft Excel, @Risk (Palisade, NY, USA) utnyttjats. Det går att hantera variation och osäkerhet i @Risk genom att ersätta punktskattningar med fördelningsfunktioner. För att räkna ut resultaten användes Monte Carlo-simuleringar. I modellen har valts att använda triangulär fördelning för sannolikhetsuppskattningar och bedömningar av tidsåtgång. Experterna har fått uppskatta intervall och ”mest trolig” för sannolikheter och tidsfördröjningar.

Triangulär fördelning har valts för dess enkelhet och att den passar bra för de sannolikhets- och tidsuppskattningar som gjorts. I de flesta fall har brandmännen uppgett ett tidsspänn för olika händelser, och även angivit ett mest troligt värde. Den triangulära fördelningen  $\text{Triang}(a, b, c)$  har ingen teoretisk bas, utan dess statistiska egenskaper härleds från dess geometri. Fördelningen används när fördelningen begränsas mellan  $a$  och  $c$ , och det vanligaste värdet i intervallet är  $b$  [15]. I Tabell 4-8, nedan, redovisas det mest troliga värdet och intervallet inom parentes:  $b(a-c)$ .

Sambandet mellan in- och utdata beräknas i programmet genom Spearman rank correlation coefficient [11]. Att enbart titta på modellens känslighet för variationer i vissa indata vore fullkomligt missvisande eftersom modellen även består av variabler som inte är av stokastisk karaktär, utan inkluderas i varje simulering. Genom att beräkna medelvärdet för det tidsbidrag som varje variabel ger i simuleringarna, kan variabler jämföras med avseende på storlek. De variabler som är konstant höga, och inte bara uppkommer vid några tillfällen kommer visa sig i en sådan jämförelse.

Genom intervjuer av brandstyrka, kontrollrumspersonal och bevakningspersonal har en stokastisk modell i programvaran @Risk utvecklats. Av enkätsvar från brandstyrkan har sannolikheten för en viss händelse uppskattats, och även en värdering om vilken påverkan i tid den specifika händelsen har för brandbekämpningsförloppet. På så sätt kan sedan tiden summeras och jämföras med tidigare uppställda krav på brandbekämpningsinsatsen (en sub utslagen efter 20 minuter, båda utslagna efter ytterligare 10 minuter). Resultatet fås genom Monte Carlo-simulering, vilket innebär att modellen itererar ett på förhand valt antal iterationer. Till denna studie användes 10 000 iterationer, eftersom vissa sannolikheter är låga, och annars riskerar att inte komma med någon gång.

Ungefär hälften av variablerna är rumsspecifika, vilket gör att resultaten mellan de olika rummen skiljer sig en del. De flesta tvillingrummen har modellerats med snarlika värden, eftersom de i stort sett är lika till innehåll och utformning. I somliga fall finns det viktiga skillnader, som korridorerna i E-huset, där utformningen av utrymmet och farlig utrustning skiljer dem åt. Ett par av kabelkulvertarna skiljer sig åt med avseende på rumsgeometri.

#### **4.5.2 Indata till modellen**

Här följer tabeller över de indata som diskuterats fram med hjälp av brandstyrkan, och som används i modellen.

Brandstyrkan kontaktas i samband med utlöst brandlarm på flera olika sätt, både med stationslarm på brandstationen, till personsökare och radio [37, 20]. Största riskerna med kommunikationsutrustningen, enligt brandstyrkan, är att radion och/eller mobiltelefonen hamnar i radioskugga på grund av de tjocka betongväggarna, alternativt att batterierna laddats ur och därmed omöjliggör en tydlig och rak kommunikation mellan bevakningscentral och brandstyrka [34].

Risken för missförstånd vid verbal överlämning av larmet bedöms som liten eftersom larmöverlämning är väl övat och sker med tvåvägskommunikation (att mottagaren upprepar meddelandet för att kontrollera att det uppfattats riktigt). Trots detta är ofta informationen som överlämnas från bevakningscentralen något knapphändig, och brandförman föredrar att få förstahandsinformation direkt från driftvakten om den specifika händelsen. Driftvakten kontaktas via radion under färden till angreppsporten. I samband med en insats har det hänt att kontrollrummet missat att ställa radion på rätt kanal [34].

**Tabell 4: Felmoder, fas 1**

<b>Felmoder, Fas 1</b>	<b>Sannolikhet [per tillfälle]</b>	<b>Tidstillägg [s]</b>
Detektor – utebliven funktion	10 <sup>-4</sup>	10 (0-20)
Detektor – felinställd	10 <sup>-3</sup>	10 (0-20)
Flera detektorer felar samtidigt	10 <sup>-5</sup>	600
Larm observeras inte	10 <sup>-4</sup>	120 (60-180)
Fel på CDA	10 <sup>-2</sup>	120 (60-180)
Brandlarmsdator	0,1	60 (30-120)
Telefonen felar*	10 <sup>-2</sup>	60 (30-120)
Forsmarksradion felar**	10 <sup>-2</sup>	10 (5-15)
Missförstånd KR-BC	10 <sup>-3</sup>	120 (60-180)
Fel radio, telefon, persons, stationslarm samtidigt	10 <sup>-9</sup>	120
Missförstånd BC-brand	10 <sup>-2</sup>	20 (10-30)
Missad passning på ”Brand 1”	10 <sup>-2</sup>	20 (5-45)

\*Beroende på batteri, dålig täckning eller liknande

\*\*Beroende på batteri eller radioskugga

Den största källan till fördröjning i fas två är om brandstyrkan är ute på annat uppdrag då larmet går. Brandstyrkan är dock alltid beredd för utryckning, med både brandbil och full utrustning tillgänglig. Dock är det ofrånkomligt att transporten till angreppsport tar längre tid om brandmän befinner sig till exempel på zonindelad område eller i SFR (slutförvaret).

**Tabell 5: Felmoder, fas 2**

<b>Felmoder, Fas 2</b>	<b>Sannolikhet [per tillfälle]</b>	<b>Tidstillägg [s]</b>
Problem map fordon*	10 <sup>-3</sup>	180 (120-300)
Problem map fysiskt skydd (grindarna öppnar inte)	10 <sup>-2</sup>	120 (60-180)
Fel block	10 <sup>-2</sup>	120 (60-180)
Fel angreppsport	10 <sup>-3</sup>	120 (30-180)
BS utspridd på jobb	0,1	300 (270-360)
BS redan på plats pga annat uppdrag	10 <sup>-2</sup>	-60 (20-150)
Väglag	10 <sup>-2</sup>	45 (10-90)
Punktering	10 <sup>-3</sup>	45 (10-90)

\*till exempel utebliven start

För att brandstyrkan ska kunna ta sig till det utsatta utrymmet är de beroende av att stationstekniker och vakt möter upp vid angreppsporten för att låsa upp porten och överlämna brandnyckelknippan till rökdykarledaren. Det har förekommit tillfällen då brandstyrkan har fått invänta någondera för att fördröjning har uppstått av någon anledning. Blir väntan lång kontaktar brandförman kontrollrummet, vilket dock krävs mycket sällan.



Stationsteknikern, som lotsar brandstyrkan förväntas hitta obehindrat i anläggningen. Risken för att stationsteknikern går fel kan tyvärr inte uteslutas, speciellt under den stress som råder vis en skarp situation.

**Tabell 6: Felmoder, fas 3**

Felmoder, Fas 3	Sannolikhet [per tillfälle]	Tidstillägg [s]
STT fördröjd	0,1	120 (30-240)
Portvakt fördröjd	0,1	120 (30-240)
Fel väg	$10^{-2}$	60 (10-240)

Högspänning, som finns i en tredjedel av de studerade utrymmena, kan utgöra ett hinder för brandmännen, eftersom brandbekämpning där apparatur och material kan vara ledande. Höga spänningar kan vara förenat med livsfara för rökdykaren. Den osäkerhet detta framkallar leder otvivelaktigt till förseningar i släckningsarbetet och i vissa fall uteblivna åtgärder.

Brandstyrkan menar att det ofta uppstår problem med radiokommunikationen, och att det på vissa platser i anläggningen är radioskugga, på grund av den tjocka betongen. För att överkomma detta problem sitter det slavsändare på vissa ställen. Störningar i radiokommunikationen kan ändå uppkomma på vissa ställen, vilket kan påverka insatsen.

Brandstyrkan besvarade frågan om hur man skulle kunna angripa hypotetiska bränder i de olika utrymmena. Vid ett flertal tillfällen var det svårt att ge bra svar. Detta inkluderas i modellen genom ett tidstillägg på att välja släckmetod. Hur denna osäkerhet vid rundvandring skulle te sig i en skarp situation är omöjligt att förutse, men det finns risk för att det kan påverka (alltså fördröja) insatsen, och därmed har tidstillägget på mellan en och fem minuter (vanligen två) införts i dessa fall.

**Tabell 7: Felmoder, fas 4**

Felmoder, Fas 4	Sannolikhet [per tillfälle]	Tidstillägg [s]
Besluta om spänningslöshet	Omkr 0,5	600 (0-1500)
Tid för att göra spänningslöst	Rumsspecifikt	Ställverksrum: 600 Övriga: >3600
Problem med radioskugga	$2 \cdot 10^{-2}$	60 (0-120)
Problem med sikt i korridorer	Tidsberoende	45 (30-240)
Lång inträngningsväg	Rumsspecifikt	1500 (*)
Långt avstånd till brandpost	Rumsspecifikt	60 (30-90)
BS har ej kännedom om tillfälliga brandlaster/arbeten..	0,5	30 (0-40)
Problematiskt att välja släckmetod	0,2 (olika)	120 (60-240)
Trångt utrymme	Rumsspecifikt	600 (300-900)
Monterar slangen innan den är urtagen ur skåpet	$10^{-2}$	90 (30-240)
Problem med tryckkärl**		240 (90-600)

\*Stort tidstillägg eftersom Östhammar måste inväntas

\*\*Gäller endast ett utrymme

Två viktiga aspekter är om det är god sikt i utrymmet och även hur pass rymligt rummet är. Om det är trångt blir det både svårt att ta sig fram, och brandkällan svår att lokalisera om röken är tjock. Det tar en stund att montera skumaggregat för skumsläckning, om det bedöms vara lämpligaste släckmetoden. Även brandfläkt tar ett par minuter att montera. Brandfläkten används främst i efterarbetet men kan också komma till användning för att skapa sikt inför rökdykning.

**Tabell 8: Felmoder, fas 5**

Felmoder, Fas 5	Sannolikhet [per tillfälle]	Tidstillägg [s]
RD saknar rumskänedom	0,5	30 (0-60)
Dålig framkomlighet (1-3)	Rumsspecifikt	90 (0-240)
Problem map sikt	0,5	60 (0-300)
Brandfläkt	0,1	210 (120-420)
Utebliven funktion brandfläkt	$10^{-2}$	
Ineffektiv släckinsats	$5 \cdot 10^{-2}$	600 (480-900)
Montera skumsläckare + insats	rumsspecifikt	600 (480-900)
Lampor slutar fungera	$10^{-4}$	60 (30-120)
Savoxkabel krånglar	$2 \cdot 10^{-2}$	30 (0-60)
Kommunikationsproblem leder till avbruten rökdykning	$3 \cdot 10^{-3}$	240 (30-120)

## 5 Resultat av kvantifiering och felreducering

Beräkningarna har utförts i flera omgångar, och med olika scenarier. Det ursprungliga scenariot utgörs av de indata som specificerats i Tabell 4 – Tabell 8 ovan. Resultat och plottar över simulerad insatstid finns i bilaga A. I Tabell 9 nedan redovisas resultaten från simuleringarna samlade i mer överskådligt tabellformat.

I tabellen redovisas medeltiden för de simulerade insatserna för att ge en fingervisning om hur lång tid de kan ta. Dock fördelar sig insatserna skevt, vilket gör medeltiden till viss del missvisande. För exakta fördelningar hänvisas till bilaga B där grafer över simuleringar i ”normalfallet” finns redovisade.

De tre nästkommande kolumnerna visar hur stor andel av simuleringsiterationerna som lyckades, översteg 20 minuter, respektive 30 minuter. Brandfrekvensen visar hur ofta per rumstyp och år som brand förväntas uppstå i de olika utrymmena. Härdskadefrekvensen visar vilken barriären mot härdskada är, givet en brand i något av de kritiska utrymmena.

Enligt simuleringar för dagsläget är sannolikheten för misslyckad släckinsats (insatstid på över 30 minuter) *lika med ett* i många utrymmen. Detta beror till stor del på att modelleringen inkluderar tid för att göra utrymmet spänningslöst, vilket i många fall ger ett tidsbidrag på över en timme. Tidsbidraget är stort eftersom det i dagsläget inte finns rutiner för hur kabelutrymmen, apparatrum och relärum görs spänningsfria. Detta samtidigt som brandstyrkan tvekar inför att gå in i utrymmen som är spänningssatta och trånga. Att en insats i verkligheten skulle ta över en timme är å andra sidan inte säkert. Genom att exempelvis välja att släcka med pulver eller skum kan brand bekämpas utan att brandmännen behöver ta sig in i rummet.

De utrymmen som klarar sig bäst i den ursprungliga analysen är korridorer och avställningsplan. Detta eftersom där finns gott om plats och det inte är några problem att hålla säkerhetsavstånd eller välja släckmedel.

Det är intressant att studera vilka variabler som betytt mest för de olika utfallen i analyserna, vilket också finns redovisat i bilaga B. Regressionsanalys och värdering av vilka variabler som totalt sett bidragit med största tidstillägg, är de metoder som används för ändamålet.

Den variabel som oftast betyder mest för resultatet är ”tid för att göra spänningslöst”, vilket beror på att tidstillägget för denna åtgärd är mycket stor. Det var en betydande del av utrymmena som brandstyrkan menade kändes obehagliga att utföra släckning i med spänning på.

”Diskutera om att göra spänningsfritt” och ”problematiskt att välja släckmetod” är också två variabler som ofta hamnar bland de sex viktigaste. Dessa är båda svårbedömda med avseende på vilken inverkan de har på släckinsatsen. Det är också två variabler som med relativt enkla hjälpmedel skulle kunna minskas. Alla kritiska utrymmen kan gås igenom av brandstyrka på förhand, för att avgöra vilka släckmetoder som är lämpliga med respektive utan spänning i utrymmet. Då besparas de osäkerheten vid en skarp situation och kan göra en snabb och effektiv insats.

”Tid för släckning” och ”tid från larm till angreppsport” hamnar högt upp på lista för variabler med stort tidsbidrag, liksom ”ineffektiv släckmetod”. Dessa är tre variabler som är svåra att påverka praktiskt. Tiden som det tar för brandstyrkan att vara på plats kanske kan kortas genom övning. Dock blir denna tid ibland längre på grund av att brandstyrkan befinner sig på jobb långt ifrån aktuellt rum. Övriga två variabler har inte gjorts påverkbara i modellen. Det är rimligt att tänka sig att själva släckinsatsen tar tid i anspråk, liksom att det inte är ovanligt att första släckförsöket inte släcker branden fullt ut.

**Tabell 9: Resultat av simuleringar. Simulerar nuläget, men utan fungerande automatisk släckning.**

Utrymme	Antal utrym- men	Medeltid släckinsats	Sannolikhet för två klarade subar	Sannolikhet för en klarad sub	Sannolikhet för miss- lyckad insats	Brandfrekvens [per driftår och rum]	Barriär mot härskada [per driftår och rum]
Apparatrum	2	6023	0,00	0,00	1,00	1,36E-04	4,69E-08
Kabelvåning	4	6797	0,00	0,00	1,00	7,13E-06	2,44E-09
Kabelkulvert E	6*	6015	0,00	0,00	1,00	7,13E-06	1,77E-09
Kabelkulvert 1	3**	7364	0,00	0,00	1,00	7,13E-06	1,31E-09
Kabelkulvert 2	3**	1388	0,35	0,52	0,13	7,13E-06	2,48E-10
Kabelschakt B	6***	1390	0,47	0,32	0,21	7,13E-06	3,21E-10
Kabelschakt E	6***	5679	0,00	0,00	1,00	7,13E-06	2,47E-09
Relärum	2	5755	0,00	0,00	1,00	1,36E-04	3,39E-08
Korridor 1	2	974	0,84	0,15	0,01	1,61E-04	1,52E-09
Avställningsplan	1	937	0,88	0,10	0,02	1,61E-04	3,45E-09
Ställverksrum	3	1870	0,01	0,43	0,56	4,16E-04	4,27E-08
Elrum	2	1836	0,01	0,50	0,49	4,16E-04	6,57E-10

\*Flera adresser till utrymmena trots att de delvis sitter ihop.

\*\*Var kulvert (2 st) består av tre utrymmen, men endast tunn avskiljande vägg med dörr på ett ställe.

\*\*\*Olika adresser för olika plan, men samma utrymme. Två schakt.

Flera av kabelutrymmena är försedda med automatiskt släcksystem i form av vattensprinkler. Då dessa tillgodoräknas i analysen förändras situationen, se Tabell 10. Det antas att släcksystemet släcker elden omgående givet att både system och dysor fungerar. I de fall sprinklersystemet inte fungerar beaktas möjligheter till manuell brandbekämpning, enligt tidigare modellering. För samtliga utrymmen blir nu sannolikheten 0,99 för lyckad släckning, vilket är högt. Medeltiden presenteras inte eftersom fördelningen är så pass skev att den är helt irrelevant. Det automatiska släcksystemet har dock ej studerats närmare. Det visade sig under rundvandringar att brandstyrkan i vissa utrymmen hade synpunkter på hur dysorna var placerade, och att det på en del ställen fanns föremål som täckte delar av det utrymme som skall skyddas [34].

**Tabell 10: Resultat simulering av utrymmen med fungerande automatiskt släcksystem.**

Utrymme	Sannolikhet för två klarade subar	Sannolikhet för en klarad sub	Sannolikhet för misslyckad insats	Brand-frekvens [per driftår och rum]	Barriär mot härdskada [per driftår och rum]
Kabelkulvert E	0,99	0,00	0,01	7,13E-06	5,62E-11
Kabelkulvert 1	0,99	0,00	0,01	7,13E-06	5,16E-11
Kabelkulvert 2	0,99	0,00	0,01	7,13E-06	5,58E-11
Kabelschakt B	0,99	0,01	0,00	7,13E-06	5,20E-11
Kabelschakt E	0,99	0,00	0,01	7,13E-06	6,32E-11

För att testa följer av ett par, relativt enkla åtgärder, gjordes anpassade simuleringar. Det antogs att informativa och användarvänliga insatsplaner för alla utrymmen finns, samt att dessa innehåller information avseende bland annat faror i utrymmen och rekommenderad släckmetod.

Simuleringar gjordes med kortare tider för osäkerhetsparametrar som ”val av släckmetod”, ”diskutera spänningslöshet” och ”rökdykare saknar rumskänedom”. Parametrarna har inte reducerats helt, utan minskats med cirka 60 procent, både med avseende på sannolikhet och tidsbidrag. Parametern ”tid för att göra spänningslöst” har dock inte reducerats i alla fall, eftersom det är orimligt i nuläget att denna åtgärd kan genomföras snabbt av kontrollrummet, så länge ingen utredning kring *om det är fördelaktigt att göra detta och hur det i sådana fall ska genomföras* har gjorts. Denna variabel har reducerats för de utrymmen som innehåller spänningsnivåer på högst 500 V, och/eller där säkerhetsavstånd kan hållas, givet att man har god rumskänedom (Relärum, apparatrum, kabelkulvertar). Sammanfattande resultat av de nya simuleringarna finns i Tabell 11, nedan.

I denna analys har inte det automatiska släcksystemet tillgodoräknats.

Sannolikheten för lyckad släckinsats är vid dessa simuleringar högre för merparten av utrymmena.

**Tabell 11: Resultat simulering, med åtgärder beaktade.**

Utrymme	Medeltid släckinsats	Sannolikhet för två klarade subar	Sannolikhet för en klarad sub	Sannolikhet för misslyckad insats	Brandfrekvens [per driftår och rum]	Barriär mot härskada [per driftår och rum]	Relativ förändring av barriären
Apparatrum	1433	0,30	0,54	0,16	1,36E-04	7,87E-09	0,82
Kabelvåning	2192	0,00	0,41	0,59	7,13E-06	1,78E-09	0,27
Kabelkulvert E	1496	0,43	0,35	0,22	7,13E-06	4,10E-10	0,77
Kabelkulvert 1	6943	0,00	0,00	1,00	7,13E-06	1,31E-09	0
Kabelkulvert 2	1251	0,51	0,44	0,05	7,13E-06	1,15E-10	0,54
Kabelschakt B	1099	0,72	0,25	0,03	7,13E-06	8,34E-11	0,74
Kabelschakt E	2505	0,00	0,02	0,98	7,13E-06	2,45E-09	0,01
Relärum	1097	0,70	0,27	0,03	1,36E-04	5,81E-09	0,83
Korridor 1	913	0,91	0,08	0,01	1,61E-04	1,47E-09	0,03
Avställningsplan	919	0,89	0,10	0,01	1,61E-04	2,85E-09	0,17
Ställverksrum	1569	0,23	0,47	0,30	4,16E-04	2,36E-08	0,45
Elrum	1721	0,01	0,68	0,31	4,16E-04	4,25E-10	0,35

I Tabell 12 nedan har olika utrymmen listats efter om analysen var övervägande positiv, negativ eller där emellan.

**Tabell 12: Sammanfattande omdömen om utrymmena efter analys av enkla förbättringsmöjligheter**

	<b>I dagsläget</b>	<b>Efter förändring</b>
<b>Lyckas</b>	Avställningsplan	Avställningsplan
	Korridorer	Korridor
	(Sprinklade utrymmen)	Relärum
		(Sprinklade utrymmen)
<b>Osäkra fall</b>	Ställverksrum	Ställverksrum
	Elrum	Elrum
		Apparatrum
<b>Misslyckas</b>	Kabelvåning	Kabelvåning
	Relärum	
	Apparatrum	

## 6 Diskussion

### 6.1 Brandsäkerhet på Forsmark 1

Flera av de analyserade utrymmena på Forsmark 1 innehåller förhållandevis lite brännbart material. Det finns idag inga kända spontant uppkomna bränder i kabelutrymmen. I de utrymmen som enbart innehåller kabel krävs därför en extern

brandstiftare för att brand ska kunna uppstå. Erfarenheter från rundvandringar visar att externt material ofta tillförs rummen i samband med att underhåll och andra arbeten utförs i dem. Det förekommer också att material lämnas kvar även efter avslutat arbete. Enligt regelverket får inget material lämnas kvar i anläggningen (förutom i för ändamålet avsedda avfallsstationer), men det är oklart vem som hålls ansvarig för kvarglömda saker. Det är inte heller förknippat med några följder att lämna skräp eller material i känsliga utrymmen.

Sedan rundvandringarna genomfördes för denna studie (främst under vecka 50 och 51 år 2007) har omfattande sanering skett på Forsmark 1. Genom försök att göra personalen ytterligare uppmärksam på vikten av att hålla kraftverket rent strävas det efter att den nya, högre ordningen att kunna upprätthållas.

De flesta av de studerade utrymmena bedöms vara av låg risk med avseende på branduppkomst, eftersom mängden brandfarligt material i dem är litet. Kablaget som används är av en typ som ska stå emot brand, vilket också bekräftades av tester genomförda i februari år 2008. Testerna visade att kablarna inte var benägna att sprida branden vidare, men att samtlig kabel brann så länge extern brandkälla tillförde energi [27]. Huruvida kabelns funktion kvarstår efter brand är oklart.

En avgörande faktor för huruvida brandbekämpningen ska lyckas är ofta hur snabbt brandstyrkan är på plats. En brand kan hanteras effektivt så länge den inte har tilltagit så pass mycket att utrymmet helt rökfyllts och sikten blivit undermålig. Så snart detta har inträffat har situationen försvårats, eftersom brandstyrkan därmed kommer att behöva ta flera viktiga och avgörande beslut avseende släckmedel, taktik och personrisker för att kunna utföra en effektiv släckinsats.

Brandstyrkan har en värmekamera för distansmätning av temperatur, vilken kan användas för att lokalisera brand i utrymmen. Ett problem med denna är dock att man måste träffa exakt rätt föremål för att få rätt temperatur angiven. I utrymmen som är trånga, med kabellådor placerade innanför, och bakom, varandra är metoden osäker. Vid dålig sikt i rummet kan det vara svårt att veta om man träffat den främre eller bakre kabelstegen. Dessa problem skulle kunna undvikas genom att istället använda IR-kameror, som ger möjlighet att se i mörker och rök. Sådana kan användas till lokalisering av brand eller glöd.

I studien har stort fokus valts att läggas vid hur lång tid en insats tar. Tidsaspekten är viktig eftersom ett brandförlopp kan gå mycket snabbt. Att stanna vid detta vore dock missvisande. Det har framkommit under intervjuer och rundvandringar att det finns andra moment eller oväntade händelser som har större inverkan på utvecklingen av situationen än om brandstyrkan är på plats utanför dörren inom fem eller sex minuter. Elutrymmen innebär en osäkerhet och potentiell fara för rökdykaren, vilket gör att en diskussion kan uppstå kring vilken metod som ska användas för att angripa branden, och huruvida det är säkert att utföra rökdykning.

En slutsats som går att dra av denna studie är således att det för de aktuella utrymmena inte är insatstiden från brandstationen till det utsatta rummet som är den mest avgörande, eftersom ett tidsödande moment kan uppkomma innan släckningsarbetet kan påbörjas. Dock poängterar brandstyrkan att ju tidigare de är på plats, desto lättare är det att bekämpa branden, riskerna är mindre, och därmed går även beslutsprocesser

snabbare. Och det är först när brandstyrkan är på plats som diskussionen om att göra spänningsslöst uppkommer.

I anslutning till denna diskussion uppkommer även diskussion kring larmvägen, som i dagsläget går via bevakningscentralen. Denna omväg kan ge en tidsfördröjning i inledningsskedet av utryckningen. Dock är denna larmväg väl inövad och har inte setts som en stor källa till fel, varken från kontrollrum, bevakningscentral eller brandstyrka. Det är positivt att bevakningscentralen omedelbart är medvetna om händelsen, eftersom de skickar vakt och har hand om att ringa efter förstärkning om så behövs. Dock brukar brandförmannen så snart det är möjligt kontakta driftvakten i kontrollrummet för ytterligare information om händelsen. Då är brandstyrkan på väg, i bilen.

För att korta insatstiden ytterligare kan det vara bra att ha direktlarm till brandstationen, så att brandstyrkan kan förbereda sig direkt när ett larm kommer. Då kan de redan vara på väg när samtalet från bevakningscentralen kommer.

Enligt en SKI-rapport om släckmetoder finns det inga restriktioner för att gå in i elutrymmen med spänningar på upp till 1000 V vid brandsläckning. Detta är dock inte något som är fast förankrat hos brandmännen. Självbevaringsdriften och det sunda förnuftet, samt att brandmännen genom utbildning har fått respekt för höga spänningsnivåer gör att de inte känner sig helt tillfreds med att gå in i vissa utrymmen och utföra släckning. Undervisning och träning i hur elbränder bäst bekämpas skulle kunna uppnå förändring avseende denna aspekt.

Genom rapporten ”Bränder i driftrum” har SKI tagit fram rekommendationer till stationsteknikers och brandstyrkas agerande vid brand i driftrum. Brandstyrkan uppmanas inom denna rapport att rådgöra med stationstekniker om exempelvis högspänningskabel finns i utrymmet. Det har dock visat sig i samband med rundvandringarna att stationstekniker inte med säkerhet kan besvara sådana frågor, utan varit tvungen att hänvisa till elektriker eller turbinoperatör i centrala kontrollrummet.

Exakt information om vilka kabledragningar som finns i kulvertar och schakt, och vilka brytare som styr dessa, finns inte tillgänglig i det centrala kontrollrummet. För att besvara sådana frågor måste grundritningar och planer studeras, vilket inte görs i en handvändning. Personalen måste här lita på erfarenhet och kunskap om anläggningen.

En möjlig metod för brandbekämpning i elutrymmen skulle kunna vara att brandstyrkan, med hjälp av IR-kamera om så behövs, från dörren försöker att lokalisera vilken utrustning som är drabbat av brand. Genom att göra denna spänningsslösa minskar riskerna för brandstyrkan att gå in och utföra släckning. Denna metod kräver att planer för hur ett specifikt utrymme görs delvis spänningsslöst tas fram av blocken, om åtgärden bedöms önskvärd.

## 6.2 Räddningstjänsten som reaktorsäkerhet

En fara med att se räddningsstyrkan som en del av reaktorsäkerheten är att det kan utmynna i en diskussion om hur stora personliga risker en brandman ska vara beredd att ta. Är det rimligt att förvänta sig att brandstyrkan ska släcka i ett utrymme, om det innebär stora personliga risker för enskilda brandmän?



Det har framkommit genom intervjuer att de flesta brandmän är beredda att ta en större personlig risk för att rädda livet på en människa som befinner sig i ett brinnande rum, än när det gäller att behålla funktionen på systemen i rummet. I förlängningen skulle man dock kunna se bibehållen systemfunktion som upprätthåller reaktorsäkerheten som en form av livräddning. Detta går att påvisa genom exempelvis PSA-beräkningar på sekvenser som leder till utsläpp av radioaktivt material, även om sannolikheten för sådan händelse är liten.

En brandman kan sägas vara sitt eget skyddsombud, vilket innebär att han ytterst själv måste ta ansvar för sitt eget liv. En brandförman kan tänkas känna osäkerhet inför att skicka in rökdykarna i utrymmen som både innehåller objekt med hög spänning samtidigt som utrymmet är trångt och svårt att ta sig fram i.

### 6.3 Tillgodoräkning av manuell brandbekämpning i säkerhetsanalysen

Analysen har visat att brandbekämpning i flera av de analyserade utrymmena är problematisk. Denna studie kan därmed inte i nuläget stödja att brandbekämpning tillgodoräknas i PSA för dessa utrymmen.

De utrymmen som har bedömts vara förknippade med de största riskerna rekommenderas att de ”ettas” i PSA-modellen. Detta innebär att sannolikheten för att ”den manuella brandbekämpningen misslyckas” sätts till ett. I verkligheten kan man ”ha tur” att branden till exempel är placerad på ett, ur brandstyrkans synvinkel sett, fördelaktigt ställe, och att den därmed kan bekämpas i alla fall. Sannolikheten för att branden uppstår på detta fördelaktiga sätt är dock mycket svårbedömd och troligen mycket liten och därmed är det svårt att väga in denna sannolikhet i den övergripande analysen.

De utrymmen som skiljer sig från de övriga med avseende på insatsmöjligheter är öppna utrymmen såsom korridorer och avlastningsplan. Genom att brandstyrkan har möjlighet att hålla säkerhetsavstånd råder inga restriktioner för brandinsatsen.

### 6.4 HRA som arbetsmetod vid analys av manuell brandbekämpning

Grundtanken i HRA är att identifiera ”ett rätt sätt att handla”, och sedan identifiera vilka sätt som operatören kan avvika från detta sätt så pass att oönskade händelser uppstår. Problemet med denna ansats i detta specifika fall är att det är svårt, om inte omöjligt, att identifiera en korrekt serie handlingar som leder till lyckad brandbekämpning. En brandsituation kan vara mycket komplex och beror också på hur branden uppstått. Det som kan vara rätt i ett fall, kanske är ödesdigert i ett annat, beroende på situationen. Därmed har behov av att anpassa teorin för situationen uppkommit, vilket har skett genom att lätta på kravet om en exakt formulering av hur uppgiften ska utföras.

Trots oförutsägbarheten i situationer är det möjligt att för olika utrymmen på förhand överväga vilken släckmetod som kan vara lämpligast, och ange en rekommendation. Genom detta skulle osäkerhet inför beslutet minskas betydligt och ge en snabbare insats. I de utrymmen där det bedöms alltför osäkert för brandstyrka att över huvud taget gå in, och där det är tekniskt möjligt kan skum- eller pulversläckning rekommenderas från

början. Detta förhindrar att långdragna diskussioner uppkommer i samband med akut behov.

Simuleringarna i denna studie är en grov förenkling av verkligheten och bygger på uppskattade data. Den gör inte anspråk på att beskriva ett verkligt förlopp, utan är till för att testa betydelsen av vissa variabler. Den statistiska grunden till denna modell är inte så stor, varför det är vanskligt att tolka resultaten. Eftersom grundproblemet är så pass komplext, kan resultaten endast ses som en indikation på var problemen ligger.

Valet föll på att utforma en enkät med frågor för att insamla information om de identifierade problemområdena. Enkäten bestod av specifika frågor och frågor av mer generell karaktär för att minimera mängden frågor. Dock visade det sig att generella frågor var svårbesvarade eftersom de tillät större egen tolkningsfrihet. Detta innebär att svaren som erhöles innehåller en större osäkerhet.

## 6.5 Ronder i anläggningen

Att låta personal från driften och brandstyrkan genomföra regelbundna brandronder *tillsammans* i anläggningarna skulle ge flera vinster. Fördelar med att ha brandmännen med är bland annat att:

- Brandmännen har god utbildning och kompetens inom brand.
- Uppgiften faller inom ramen för brandstyrkans intresse, och man kan tänka sig att det därmed förekommer mindre risk för att brandlaster inte uppmärksammas än om driftpersonal ronderar själv.
- Genom att gå ronder i anläggningen ökar brandmännens lokalkännedom. Det är en fördel om de på förhand har en uppfattning om hur ett visst utrymme ser ut på insidan, eftersom det antagligen är rökfyllt vid en skarp insats.

Genom att låta driftpersonal genomföra ronderna tillsammans med brand dras även följande fördelar:

- Driftpersonalen får en förståelse för brandstyrkans arbete och insikt om vilken typ av material som måste avlägsnas.
- Driften känner mer personligt ansvar för renligheten.

Det finns stora vinster med avseende på brandrisker att låta drift och brand ha gemensamma ronder; detta skapar god kännedom om varandras funktioner och underlättar kommunikation och förståelse för varandra vid en eventuell insats.

Det går att framhålla att brandstyrkan inte bör överbelastas med arbetsuppgifter ute på blocken eftersom det innebär en längre insatstid om ett larm skulle inkomma. Variabeln för att brandstyrkan är utspridd på övriga jobb, och därmed har en betydligt längre insatstid uppkommer i flera analyser. Dock finns det en fördel i att ha brandstyrkan ute på blocken mycket, så att de känner sig hemma där och blir förtrogna med hur olika utrymmen ser ut i vanliga fall. Dessa fördelar måste vägas mot varandra och en jämvikt uppnås. Den här typen av gemensamma ronder är planerade att genomföras på alla block med start i år, och de kommer att ske två gånger per år. En ännu tätare rondering i de mest kritiska utrymmena vore dock önskvärd.

Vardera brandskiftlag ansvarar för ett av områdena Forsmark 1, 2 eller 3, eller ytterområdena. Det gör att brandmännen blir duktiga på att hitta på "sitt" block, men har sämre lokalkännedom i de övriga. F1 och F2 är förvisso snarlikt uppbyggda, men det finns vissa skillnader. Det vore önskvärt att brandmännen skulle ha viss kännedom om alla blocken, eller i alla fall att den kunskapen finns inom ett och samma skiftlag. Det vore värdefullt för brandmännen att på förhand veta hur utrymmena ser ut, så att de har en känsla för det även när utrymmena är rökfyllda.

Ett annat viktigt sätt att höja kunskapen hos brandstyrkan är att se till att lärdomar dras från de händelser som uppstår. Eftersom brand uppkommer sällan på kärnkraftsanläggningar får brandstyrkan ingen vana i att agera vid skarpa situationer. (Regelbunden övning sker.) Efter en händelse är det viktigt att hela brandstyrkan får ta del av hur branden gick till, vad som gick bra och vad som gick mindre bra. Det vore bra att utbyta sådana erfarenheter med de övriga svenska kärnkraftverken.

## 7 Slutsatser

Studien har resulterat i en bedömning av möjligheter till manuell brandbekämpning i några kritiska utrymmen på Forsmark 1. Analysen visar att sannolikheten i dagsläget är nära 1 att brandbekämpningen ska misslyckas i kabelvåningar, relärum och apparatrum. I öppna utrymmen som korridorer och avlastningsplan är möjligheterna för manuell brandbekämpning betydligt bättre, varför en lägre siffra kan sättas. Svårbedömda utrymmen är ställverksrum och elrum. I sprinklade utrymmen är risken för misslyckad brandbekämpning liten. Åtgärder (se rekommendationer i kap 6.1 nedan) ger gott resultat på brandbekämpningsmöjligheter.

Denna studie har bidragit till att brandstyrkan har blivit mer observant på att det finns utrymmen i anläggningen som är kritiska för reaktorsäkerheten, och att det för flertalet av dessa utrymmen råder osäkerhet kring hur en släckinsats ska genomföras. Det är därför av stor vikt att rondering på Forsmark 1 och 2 upprätthålls, samt att vägledande rekommendationer upprättas avseende exempelvis släckmetoder för de olika utrymmena. Motsvarande instruktion för hur utrymmena snabbt görs (delvis) spänningsslösa borde tas fram så att det finns tillgängligt i kontrollrummet, om åtgärden anses lämplig.

Brand är ett komplext och svårförutsägbart fenomen. Denna studie har utrett förutsättningar för brandstyrkan att utföra släckning i ett för reaktorsäkerheten kritiskt utrymme. Det har visat sig osäkert att förlita sig helt till den manuella brandstyrkan för vissa utrymmen, givet att kritiska bränder kan inträffa.

### 7.1 Rekommendationer

Förslag på rekommenderade åtgärder som uppkommit genom arbetet med denna analys sammanställs i denna lista:

- Gemensam rondering för drift och brandstyrka
- Märka ut två-subade utrymmen. Även ge information om antal subar och spänningsnivå direkt vid larmning av brandstyrkan
- Erfarenhetsåterföring inom brandstyrkan och även med brandstyrkor på andra anläggningar
- Undervisning och träning i att släcka elbränder
- Märka upp dörrar till, och golv under, säkerhetskritiska områden.
- Layout utanför rummet med kabelstegar och elskåp utmärkta. Även med spänningsnivåer. För att brandstyrkan ska kunna veta vilken del av ett utrymme som är kritiskt, var subar är placerade och vad som bör undvikas.
- Utredda om det är möjligt och en önskvärd åtgärd att göra utrymmen delvis spänningsslösa (på den sub som brinner), och upprätta instruktioner/rekommendationer för det.
- Nya tekniker såsom IR-kamera införs efter utvärdering.
- Bättre uppföljning avseende brännbart material som lämnats i anläggningen.
- Nummerskylt även närmare golvet. (Detta underlättar rumsidentifiering vid rökfyllda korridorer).

Utökad utbildning i reaktorsäkerhet skulle behövas för att personalen ska få insikt om vikten av att hålla extra uppsikt över just dessa rum. Detta eftersom det inte intuitivt är

uppenbart att till exempel vissa korridorer är kritiska för reaktorsäkerheten. Arbetet med denna studie har lett till att brandstyrkan har blivit observanta på vilka utrymmen i anläggningen som är mest kritiska, och kan vara mer på sin vakt under brandronder i dessa.

Informationen om utrymmena rekommenderas att det finns tillgängligt i pärmar hos brandstyrka, kontrollrum och bevakningscentral. Det finns vinster med avseende på tillgänglighet om information även går att finna på skyltar i anslutning till specifikt utrymme. Det höjer medvetenheten hos driftpersonal och underlättar vid en insats. Med tanke på fysiskt skydd och sabotagerisk kan det ifrågasättas om det är lämpligt att märka ut de två-subade utrymmena med skyltar vid dörren. Denna risk måste värderas innan skyltning genomförs.

## 7.2 Förslag på fortsatta studier

För att komplettera denna studie av möjlighet till manuell brandbekämpning i ett antal kritiska utrymmen på Forsmark 1 kan en detaljerad brandspridningsanalys genomföras. Detta för att bilda en uppfattning om hur stora riskerna för uppkomst och spridning av brand i de aktuella utrymmena egentligen är. Vidare kan det vara intressant att utföra en analys över *hur mycket* extern brandbelastning som skulle behövas för att kritisk brand i aktuella utrymmen skulle kunna uppstå. Det skulle kunna styrka vikten av att hålla utrymmena fria från brännbart material.

## 8 Referenslista

### 8.1 Tryckt material

- [1] Dougherty, E. M. 1990. "Human reliability analysis – where shouldst thou turn?" Ur *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 29, nr 3
- [2] Draka kabel (2004) *Kablar vid rök och brand* CD-baserat informationsmaterial
- [3] Holmgren och Thedéen 2003. "Riskanalys", ur Grimvall, Jacobsson, Thedéen *Risker i tekniska system* Studentlitteratur
- [4] Magnusson, Ottosson, Lindskog, Söderquist Bende, Eriksson, Haffling 2006. *Bränder i driftrum – Insatsplaner, släckteknik, risker* SKI Rapport 2006:29
- [5] Nowlen, Kazarians, Wyant 2001. *Risk Methods Insights Gained From Fire Incidents* NUREG/CR-6738
- [6] Kolaczowski, Forester, Lois, Cooper, 2005. *Good practices for Implementing Human Reliability Analysis (HRA)*. NUREG-1792, Sandia National Laboratories
- [7] NUREG/CR-1278, 1983. *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. Sandia National Laboratories
- [39] NUREG CR-6850 2005. *Post-fire Human Reliability Analysis* kap 12
- [8] Kirwan, B. 1994. *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. Taylor & Francis
- [9] Kumamoto, H. och Henley, E 1996. *Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists* IEEE Press, New York
- [10] Obenius, A. 2007. *Analys av mänsklig tillförliglighet. HRA-begreppets tillämpbarhet vid revisionsavställning* SKI-rapport 2007:33
- [11] Palisade 2002. *Guide to using @Risk, Risk Analysis and Simulation Add-In for Microsoft Excel* Version 4.5 Newfield, NY USA
- [12] Reason, J. 1990. *Human Error*. Cambridge University Press
- [38] Roos, A 2007. *HRA – En översikt av användning, metoder och tillsyn* SKI utredningsrapport EXT2007-1026
- [13] Swain, A. D. 1990. "Human reliability analysis: need, status, trends and limitations" Ur *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 29, nr 3
- [14] Vicente, K 1999. *Cognitive work analysis – Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work* Lawrence Erlbaum Associates

- [15] Vose D., 2001. *Risk analysis: a quantitative guide*. 2 uppl. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

## 8.2 Rapporter och driftinstruktioner

- [16] Brandutredningsrapport *Brand i ställverk* 200510278
- [17] Ekdahl, M 2006. *Typbränder inom kärnkraften* 1924257/2.0
- [18] DI-2847-2 *Brandventilation*
- [19] DI-1981:20 *Åtgärder vid utlöst larm*
- [20] DI-2990-13 *Bilaga 1: Larmplan för BC*
- [21] F1-FSAR-KAP4.2
- [22] F1-FSAR 2004 *Allmän del. Kapitel 9 – säkerhetsanalys. Avsnitt 9.14 Brandanalys*
- [41] *FKA Reaktorsäkerhetsprogram 2008* FKA-2007-0144
- [23] Hellström, P 2004. *Övergripande beskrivning av PSA nivå 1 och 2 och analys av yttre händelser* Relcon Scandpower AB
- [24] Kahlbom, U 1998. *PSA Nivå 1 för B1 (okt-98) Bilagor till huvudrapporten. Analys av manuella ingrepp 3.2. Manuella ingrepp ingående i brand- och översvämninganalys* T-9812-45
- [25] Nygren G 2007. *Metodik för analys av brandspridning i vissa kritiska elutrymmen* WSP Brand- och Riskteknik
- [26] *PSA Forsmark 1 / 2 och Forsmark 3 Bilagor till Huvudrapporten 1.1.5, Metodbeskrivning för dataanalys (HRA för effektdrift)* FT-2005-619, Forsmark, 2005-09-28
- [27] SP Rapport. 2008 *Heat release and smoke production rate of electric cables when tested* EXT-2008-0515
- [28] Yttre händelser 1998. *Metoder för probabilistisk säkerhetsanalys av brand, översvämning och annan yttre påverkan* SKI (CD-dokument)
- [29] Ögren, B 2007. *Forsmark – Brandskydd* F-I-124
- [30] Ögren, B 2007. *Rutiner vid räddningstjänst* F-I-693

### 8.3 Hemsidor

- [31] Statens kärnkraftinspektion (SKI): [www.ski.se](http://www.ski.se) SKIFS 2004 Flertal tillfällen, januari 2008
- [32] Föreningen Räddningskårer i samverkan (FRIS) [www.fris.se](http://www.fris.se) 2008-02-15

### 8.4 Intervjuer och walkdowns

- [33] Samtal, Berndt Ögren 2007-10-17, 2008-02-07, 2008-02-15
- [34] Walkdown, räddningsstyrka Addici 2007-12-11,12,13,14, 19, 20
- [35] Walkdown, stationstekniker 2007-12-17, 18, 19
- [36] Intervju med driftvakt 2008-01-23, 25
- [37] Intervju Bevakningscentralen 2008-01-08
- [40] Fauske, Seminarium om FAIT, ett brandspridningsanalysprogram, 2007-11-09



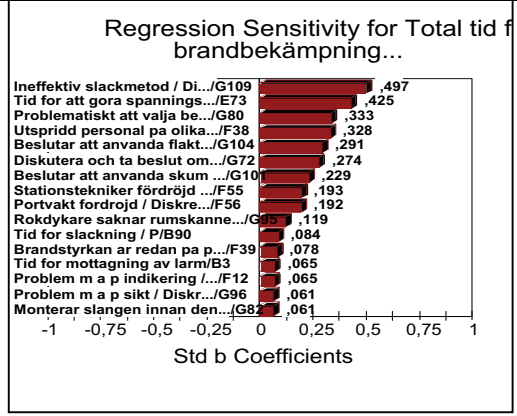
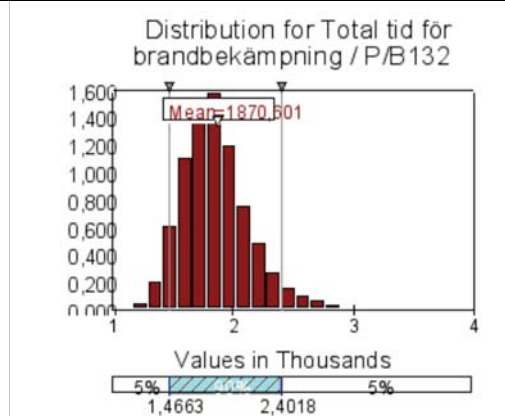
# Bilagor

## Bilaga A: Simuleringsresultat

Apparatrum																																	
<p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean=6023,383</p> <p>Values in Thousands</p>	<p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p> <table border="1"> <tr><td>Tid för att göra spannings.../E73</td><td>,763</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,518</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,236</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,172</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda flakt.../G104</td><td>,144</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,113</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,11</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,073</td></tr> <tr><td>Portvakt fordroid / Diskr.../F56</td><td>,066</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,065</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G99</td><td>,04</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,029</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,027</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering.../F12</td><td>,024</td></tr> <tr><td>Tid för mottagning av larm/B3</td><td>,022</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den.../G82</td><td>,021</td></tr> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Tid för att göra spannings.../E73	,763	Diskutera och ta beslut om.../G72	,518	Beslutar att använda skum.../G10	,236	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,172	Beslutar att använda flakt.../G104	,144	Problematiskt att välja be.../G80	,113	Utspridd personal på olika.../F38	,11	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,073	Portvakt fordroid / Diskr.../F56	,066	Stationstekniker fördröjd.../F55	,065	Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,04	Tid för släckning / P/B90	,029	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,027	Problem m a p indikering.../F12	,024	Tid för mottagning av larm/B3	,022	Monterar slangen innan den.../G82	,021
Tid för att göra spannings.../E73	,763																																
Diskutera och ta beslut om.../G72	,518																																
Beslutar att använda skum.../G10	,236																																
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,172																																
Beslutar att använda flakt.../G104	,144																																
Problematiskt att välja be.../G80	,113																																
Utspridd personal på olika.../F38	,11																																
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,073																																
Portvakt fordroid / Diskr.../F56	,066																																
Stationstekniker fördröjd.../F55	,065																																
Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,04																																
Tid för släckning / P/B90	,029																																
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,027																																
Problem m a p indikering.../F12	,024																																
Tid för mottagning av larm/B3	,022																																
Monterar slangen innan den.../G82	,021																																
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för att göra spanningslöst            Diskutera och ta beslut om att försöka            göra spanningslöst            Tid för släckning            Tid från larm tills brandstyrkan är vid            angreppsport            Tid från angreppsport till brandrum            Problematiskt att välja            bekämpningsmetod</p>																																
Relärum																																	
<p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean=5755,008</p> <p>Values in Thousands</p>	<p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p> <table border="1"> <tr><td>Tid för att göra spannings.../E73</td><td>,781</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,525</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,176</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda flakt.../G104</td><td>,13</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,116</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,115</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,113</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,067</td></tr> <tr><td>Portvakt fordroid / Diskr.../F56</td><td>,067</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,045</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G99</td><td>,042</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,029</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,028</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering.../F12</td><td>,026</td></tr> <tr><td>Tid för mottagning av larm/B3</td><td>,022</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den.../G82</td><td>,022</td></tr> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Tid för att göra spannings.../E73	,781	Diskutera och ta beslut om.../G72	,525	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,176	Beslutar att använda flakt.../G104	,13	Problematiskt att välja be.../G80	,116	Beslutar att använda skum.../G10	,115	Utspridd personal på olika.../F38	,113	Stationstekniker fördröjd.../F55	,067	Portvakt fordroid / Diskr.../F56	,067	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,045	Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,042	Tid för släckning / P/B90	,029	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,028	Problem m a p indikering.../F12	,026	Tid för mottagning av larm/B3	,022	Monterar slangen innan den.../G82	,022
Tid för att göra spannings.../E73	,781																																
Diskutera och ta beslut om.../G72	,525																																
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,176																																
Beslutar att använda flakt.../G104	,13																																
Problematiskt att välja be.../G80	,116																																
Beslutar att använda skum.../G10	,115																																
Utspridd personal på olika.../F38	,113																																
Stationstekniker fördröjd.../F55	,067																																
Portvakt fordroid / Diskr.../F56	,067																																
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,045																																
Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,042																																
Tid för släckning / P/B90	,029																																
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,028																																
Problem m a p indikering.../F12	,026																																
Tid för mottagning av larm/B3	,022																																
Monterar slangen innan den.../G82	,022																																
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för släckning            Tid från larm tills brandstyrkan är vid            angreppsport            Långt avstånd till brandpost            Tid vid dörren            Diskutera och ta beslut om att försöka            göra spanningslöst            Tid från angreppsport till brandrum</p>																																

--	--

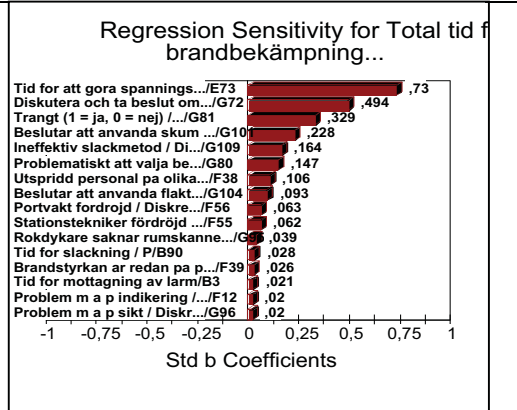
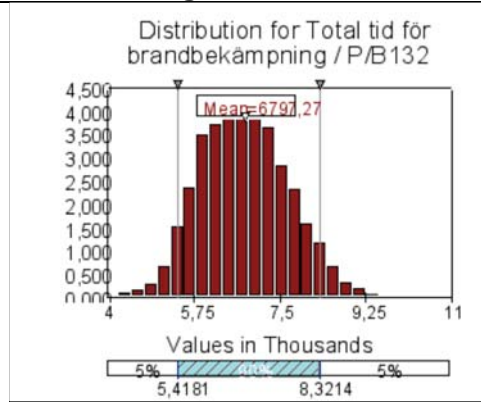
**Ställverksrum**



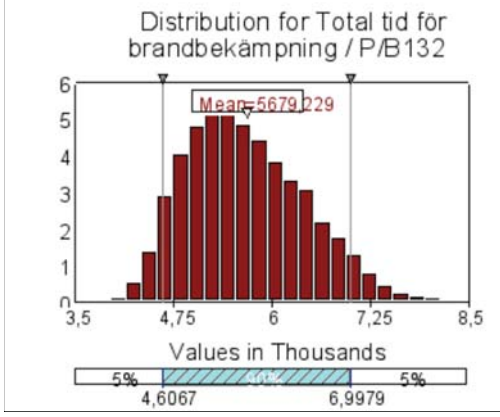
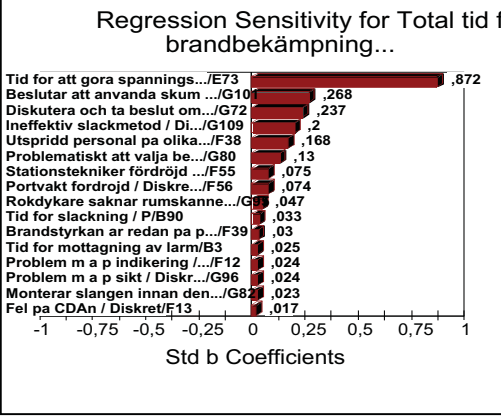
Variabler med störst tidsbidrag:

- Tid för att göra spanningslöst
- Tid för släckning
- Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport
- Problematiskt att välja bekämpningsmetod
- Diskutera och ta beslut om att försöka göra spanningslöst
- Utspridd personal på olika jobb, eller på zonindelad område

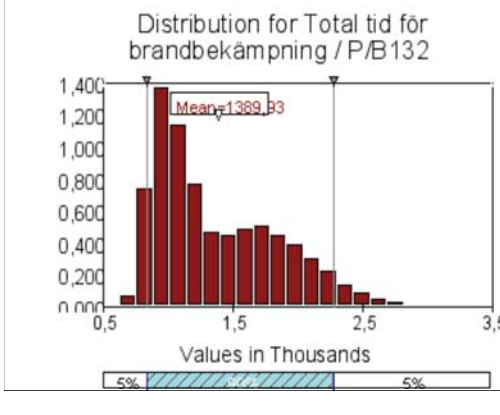
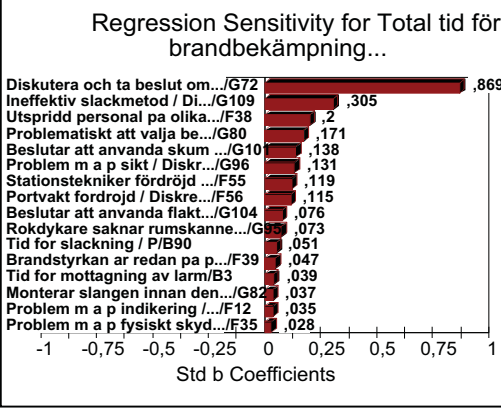
**Kabelvåning**

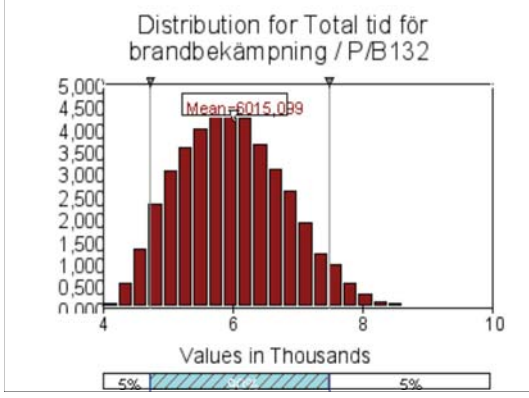
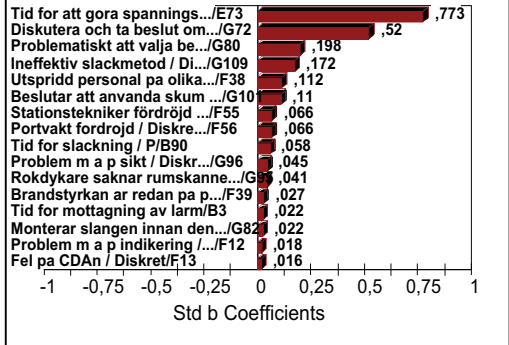
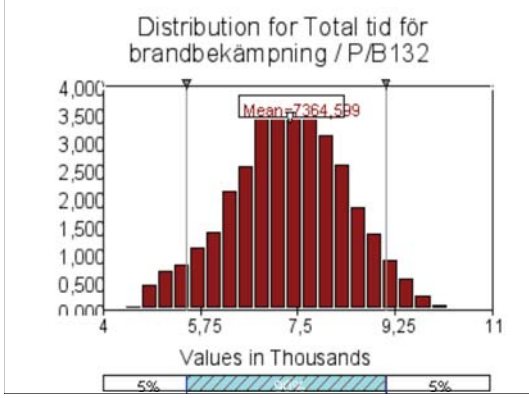
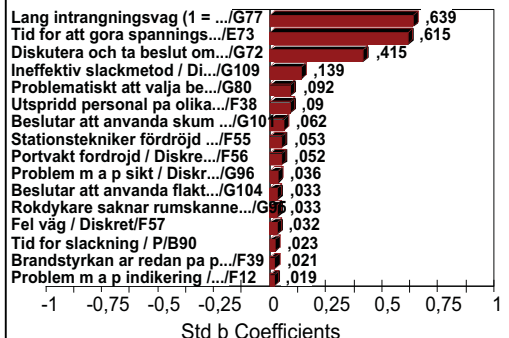


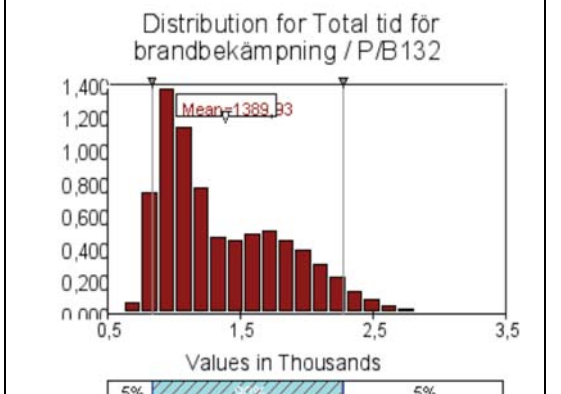
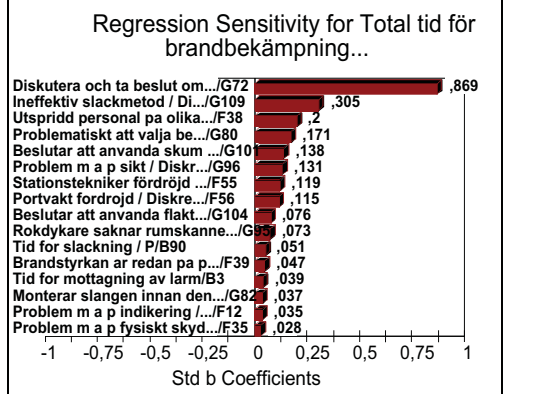
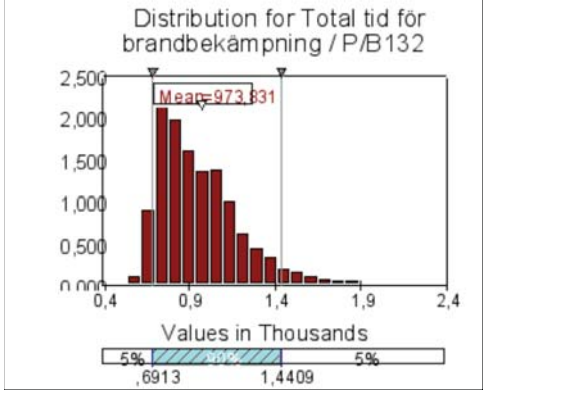
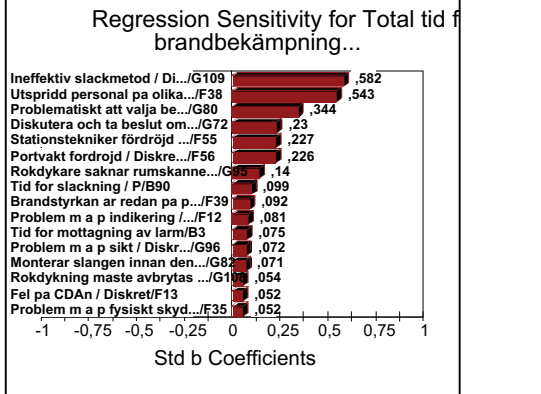
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för att göra spenningslöst Trångt Diskutera och ta beslut om att försöka göra spenningslöst Tid för släckning Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport Tid för mottagning av larm</p>
---	--

<p><b>Kabelschakt, E-huset</b></p>  <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean: 5.679,229</p> <p>Values in Thousands</p> <p>5% 4.6067 6.9979 5%</p>	<p><b>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Std b Coefficient</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tid for att göra spenningslöst.../E73</td><td>,872</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,268</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,237</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,2</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,168</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,13</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,075</td></tr> <tr><td>Portvakt fördröjd / Diskre.../F56</td><td>,074</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G96</td><td>,047</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,033</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,03</td></tr> <tr><td>Tid för mottagning av larm/B3</td><td>,025</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /.../F12</td><td>,024</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,024</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den.../G82</td><td>,023</td></tr> <tr><td>Fel på CDAn / Diskret/F13</td><td>,017</td></tr> </tbody> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Variable	Std b Coefficient	Tid for att göra spenningslöst.../E73	,872	Beslutar att använda skum.../G10	,268	Diskutera och ta beslut om.../G72	,237	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,2	Utspridd personal på olika.../F38	,168	Problematiskt att välja be.../G80	,13	Stationstekniker fördröjd.../F55	,075	Portvakt fördröjd / Diskre.../F56	,074	Rokdykare saknar rumskanne.../G96	,047	Tid för släckning / P/B90	,033	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,03	Tid för mottagning av larm/B3	,025	Problem m a p indikering /.../F12	,024	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,024	Monterar slangen innan den.../G82	,023	Fel på CDAn / Diskret/F13	,017
Variable	Std b Coefficient																																		
Tid for att göra spenningslöst.../E73	,872																																		
Beslutar att använda skum.../G10	,268																																		
Diskutera och ta beslut om.../G72	,237																																		
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,2																																		
Utspridd personal på olika.../F38	,168																																		
Problematiskt att välja be.../G80	,13																																		
Stationstekniker fördröjd.../F55	,075																																		
Portvakt fördröjd / Diskre.../F56	,074																																		
Rokdykare saknar rumskanne.../G96	,047																																		
Tid för släckning / P/B90	,033																																		
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,03																																		
Tid för mottagning av larm/B3	,025																																		
Problem m a p indikering /.../F12	,024																																		
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,024																																		
Monterar slangen innan den.../G82	,023																																		
Fel på CDAn / Diskret/F13	,017																																		

<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för att göra spenningslöst Ineffektiv släckmetod Tid för släckning Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport Utspridd personal på olika jobb, eller på zonindelad område Diskutera och ta beslut om att försöka göra spenningslöst</p>
---	--

<p><b>Kabelschakt, B-huset</b></p>  <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean: 1.389,83</p> <p>Values in Thousands</p> <p>5% 0.72 2.0587 5%</p>	<p><b>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Std b Coefficient</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,869</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,305</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,2</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,171</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,138</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,131</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,119</td></tr> <tr><td>Portvakt fördröjd / Diskre.../F56</td><td>,115</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda flakt.../G104</td><td>,076</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G96</td><td>,073</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,051</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,047</td></tr> <tr><td>Tid för mottagning av larm/B3</td><td>,039</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den.../G82</td><td>,037</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /.../F12</td><td>,035</td></tr> <tr><td>Problem m a p fysiskt skyd.../F35</td><td>,028</td></tr> </tbody> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Variable	Std b Coefficient	Diskutera och ta beslut om.../G72	,869	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,305	Utspridd personal på olika.../F38	,2	Problematiskt att välja be.../G80	,171	Beslutar att använda skum.../G10	,138	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,131	Stationstekniker fördröjd.../F55	,119	Portvakt fördröjd / Diskre.../F56	,115	Beslutar att använda flakt.../G104	,076	Rokdykare saknar rumskanne.../G96	,073	Tid för släckning / P/B90	,051	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,047	Tid för mottagning av larm/B3	,039	Monterar slangen innan den.../G82	,037	Problem m a p indikering /.../F12	,035	Problem m a p fysiskt skyd.../F35	,028
Variable	Std b Coefficient																																		
Diskutera och ta beslut om.../G72	,869																																		
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,305																																		
Utspridd personal på olika.../F38	,2																																		
Problematiskt att välja be.../G80	,171																																		
Beslutar att använda skum.../G10	,138																																		
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,131																																		
Stationstekniker fördröjd.../F55	,119																																		
Portvakt fördröjd / Diskre.../F56	,115																																		
Beslutar att använda flakt.../G104	,076																																		
Rokdykare saknar rumskanne.../G96	,073																																		
Tid för släckning / P/B90	,051																																		
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,047																																		
Tid för mottagning av larm/B3	,039																																		
Monterar slangen innan den.../G82	,037																																		
Problem m a p indikering /.../F12	,035																																		
Problem m a p fysiskt skyd.../F35	,028																																		

<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för släckning  Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport  Problem map sikt  Diskutera och ta beslut om att försöka göra spänningslöst  Ineffektiv släckmetod  Tid vid dörren</p>																																		
<p><b>Kabelkulvert, E-huset</b></p>  <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean=6,015.099</p> <p>Values in Thousands</p>	<p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Std b Coefficients</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tid för att göra spänningslöst.../E73</td><td>,773</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,52</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,198</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,172</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,112</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,11</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,066</td></tr> <tr><td>Portvakt fordroid / Diskre.../F56</td><td>,066</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,058</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,045</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G99</td><td>,041</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,027</td></tr> <tr><td>Tid för mottagning av larm/B3</td><td>,022</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den.../G82</td><td>,022</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /.../F12</td><td>,018</td></tr> <tr><td>Fel på CDAn / Diskret/F13</td><td>,016</td></tr> </tbody> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Variable	Std b Coefficients	Tid för att göra spänningslöst.../E73	,773	Diskutera och ta beslut om.../G72	,52	Problematiskt att välja be.../G80	,198	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,172	Utspridd personal på olika.../F38	,112	Beslutar att använda skum.../G10	,11	Stationstekniker fördröjd.../F55	,066	Portvakt fordroid / Diskre.../F56	,066	Tid för släckning / P/B90	,058	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,045	Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,041	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,027	Tid för mottagning av larm/B3	,022	Monterar slangen innan den.../G82	,022	Problem m a p indikering /.../F12	,018	Fel på CDAn / Diskret/F13	,016
Variable	Std b Coefficients																																		
Tid för att göra spänningslöst.../E73	,773																																		
Diskutera och ta beslut om.../G72	,52																																		
Problematiskt att välja be.../G80	,198																																		
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,172																																		
Utspridd personal på olika.../F38	,112																																		
Beslutar att använda skum.../G10	,11																																		
Stationstekniker fördröjd.../F55	,066																																		
Portvakt fordroid / Diskre.../F56	,066																																		
Tid för släckning / P/B90	,058																																		
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,045																																		
Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,041																																		
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,027																																		
Tid för mottagning av larm/B3	,022																																		
Monterar slangen innan den.../G82	,022																																		
Problem m a p indikering /.../F12	,018																																		
Fel på CDAn / Diskret/F13	,016																																		
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för att göra spänningslöst  Diskutera och ta beslut om att försöka göra spänningslöst  Tid för släckning  Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport  Problematiskt att välja släckmetod  Problem map sikt</p>																																		
<p><b>Kabelkulvert 2</b></p>  <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean=7,364.599</p> <p>Values in Thousands</p>	<p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Std b Coefficients</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lang intrångsvag (1 = .../G77</td><td>,639</td></tr> <tr><td>Tid för att göra spännings.../E73</td><td>,615</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om.../G72</td><td>,415</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di.../G109</td><td>,139</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be.../G80</td><td>,092</td></tr> <tr><td>Utspridd personal på olika.../F38</td><td>,09</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda skum.../G10</td><td>,062</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd.../F55</td><td>,053</td></tr> <tr><td>Portvakt fordroid / Diskre.../F56</td><td>,052</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr.../G96</td><td>,036</td></tr> <tr><td>Beslutar att använda flakt.../G104</td><td>,033</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne.../G99</td><td>,033</td></tr> <tr><td>Fel väg / Diskret/F57</td><td>,032</td></tr> <tr><td>Tid för släckning / P/B90</td><td>,023</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan är redan på p.../F39</td><td>,021</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /.../F12</td><td>,019</td></tr> </tbody> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Variable	Std b Coefficients	Lang intrångsvag (1 = .../G77	,639	Tid för att göra spännings.../E73	,615	Diskutera och ta beslut om.../G72	,415	Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,139	Problematiskt att välja be.../G80	,092	Utspridd personal på olika.../F38	,09	Beslutar att använda skum.../G10	,062	Stationstekniker fördröjd.../F55	,053	Portvakt fordroid / Diskre.../F56	,052	Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,036	Beslutar att använda flakt.../G104	,033	Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,033	Fel väg / Diskret/F57	,032	Tid för släckning / P/B90	,023	Brandstyrkan är redan på p.../F39	,021	Problem m a p indikering /.../F12	,019
Variable	Std b Coefficients																																		
Lang intrångsvag (1 = .../G77	,639																																		
Tid för att göra spännings.../E73	,615																																		
Diskutera och ta beslut om.../G72	,415																																		
Ineffektiv släckmetod / Di.../G109	,139																																		
Problematiskt att välja be.../G80	,092																																		
Utspridd personal på olika.../F38	,09																																		
Beslutar att använda skum.../G10	,062																																		
Stationstekniker fördröjd.../F55	,053																																		
Portvakt fordroid / Diskre.../F56	,052																																		
Problem m a p sikt / Diskr.../G96	,036																																		
Beslutar att använda flakt.../G104	,033																																		
Rokdykare saknar rumskanne.../G99	,033																																		
Fel väg / Diskret/F57	,032																																		
Tid för släckning / P/B90	,023																																		
Brandstyrkan är redan på p.../F39	,021																																		
Problem m a p indikering /.../F12	,019																																		

<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för att göra spänningslöst Lang insatsväg Diskutera och ta beslut om att försöka göra spänningslöst Tid för släckning Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport Problematiskt att välja släckmetod</p>																																
<b>Avlastningsplan för lyftschakt</b>																																	
 <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean: 1,389,93</p> <p>Values in Thousands</p> <p>5% 0,6913 1,4409 5%</p>	 <p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p> <table border="1"> <tr><td>Diskutera och ta beslut om...</td><td>,869</td></tr> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di...</td><td>,305</td></tr> <tr><td>Utspriid personal pa olika...</td><td>,2</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be...</td><td>,171</td></tr> <tr><td>Beslut ar att anvanda skum...</td><td>,138</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr...</td><td>,131</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd...</td><td>,119</td></tr> <tr><td>Portvakt fordröjd / Diskre...</td><td>,115</td></tr> <tr><td>Beslut ar att anvanda flakt...</td><td>,076</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne...</td><td>,073</td></tr> <tr><td>Tid for släckning / P/B90</td><td>,051</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan ar redan pa p...</td><td>,047</td></tr> <tr><td>Tid for mottagning av larm/B3</td><td>,039</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den...</td><td>,037</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /...</td><td>,035</td></tr> <tr><td>Problem m a p fysiskt skyd...</td><td>,028</td></tr> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Diskutera och ta beslut om...	,869	Ineffektiv släckmetod / Di...	,305	Utspriid personal pa olika...	,2	Problematiskt att välja be...	,171	Beslut ar att anvanda skum...	,138	Problem m a p sikt / Diskr...	,131	Stationstekniker fördröjd...	,119	Portvakt fordröjd / Diskre...	,115	Beslut ar att anvanda flakt...	,076	Rokdykare saknar rumskanne...	,073	Tid for släckning / P/B90	,051	Brandstyrkan ar redan pa p...	,047	Tid for mottagning av larm/B3	,039	Monterar slangen innan den...	,037	Problem m a p indikering /...	,035	Problem m a p fysiskt skyd...	,028
Diskutera och ta beslut om...	,869																																
Ineffektiv släckmetod / Di...	,305																																
Utspriid personal pa olika...	,2																																
Problematiskt att välja be...	,171																																
Beslut ar att anvanda skum...	,138																																
Problem m a p sikt / Diskr...	,131																																
Stationstekniker fördröjd...	,119																																
Portvakt fordröjd / Diskre...	,115																																
Beslut ar att anvanda flakt...	,076																																
Rokdykare saknar rumskanne...	,073																																
Tid for släckning / P/B90	,051																																
Brandstyrkan ar redan pa p...	,047																																
Tid for mottagning av larm/B3	,039																																
Monterar slangen innan den...	,037																																
Problem m a p indikering /...	,035																																
Problem m a p fysiskt skyd...	,028																																
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för släckning Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport Tid för mottagning av larmen Tid vid dörren Ineffektiv släckmetod Utspriid personal på olika jobb, eller på zonindelad område</p>																																
<b>Korridorer</b>																																	
 <p>Distribution for Total tid för brandbekämpning / P/B132</p> <p>Mean: 973,831</p> <p>Values in Thousands</p> <p>5% 0,6913 1,4409 5%</p>	 <p>Regression Sensitivity for Total tid för brandbekämpning...</p> <table border="1"> <tr><td>Ineffektiv släckmetod / Di...</td><td>,582</td></tr> <tr><td>Utspriid personal pa olika...</td><td>,543</td></tr> <tr><td>Problematiskt att välja be...</td><td>,344</td></tr> <tr><td>Diskutera och ta beslut om...</td><td>,23</td></tr> <tr><td>Stationstekniker fördröjd...</td><td>,227</td></tr> <tr><td>Portvakt fordröjd / Diskre...</td><td>,226</td></tr> <tr><td>Rokdykare saknar rumskanne...</td><td>,14</td></tr> <tr><td>Tid for släckning / P/B90</td><td>,099</td></tr> <tr><td>Brandstyrkan ar redan pa p...</td><td>,092</td></tr> <tr><td>Problem m a p indikering /...</td><td>,081</td></tr> <tr><td>Tid for mottagning av larm/B3</td><td>,075</td></tr> <tr><td>Problem m a p sikt / Diskr...</td><td>,072</td></tr> <tr><td>Monterar slangen innan den...</td><td>,071</td></tr> <tr><td>Rokdykning maste avbrytas...</td><td>,054</td></tr> <tr><td>Fel pa CDAn / Diskret/F13</td><td>,052</td></tr> <tr><td>Problem m a p fysiskt skyd...</td><td>,052</td></tr> </table> <p>Std b Coefficients</p>	Ineffektiv släckmetod / Di...	,582	Utspriid personal pa olika...	,543	Problematiskt att välja be...	,344	Diskutera och ta beslut om...	,23	Stationstekniker fördröjd...	,227	Portvakt fordröjd / Diskre...	,226	Rokdykare saknar rumskanne...	,14	Tid for släckning / P/B90	,099	Brandstyrkan ar redan pa p...	,092	Problem m a p indikering /...	,081	Tid for mottagning av larm/B3	,075	Problem m a p sikt / Diskr...	,072	Monterar slangen innan den...	,071	Rokdykning maste avbrytas...	,054	Fel pa CDAn / Diskret/F13	,052	Problem m a p fysiskt skyd...	,052
Ineffektiv släckmetod / Di...	,582																																
Utspriid personal pa olika...	,543																																
Problematiskt att välja be...	,344																																
Diskutera och ta beslut om...	,23																																
Stationstekniker fördröjd...	,227																																
Portvakt fordröjd / Diskre...	,226																																
Rokdykare saknar rumskanne...	,14																																
Tid for släckning / P/B90	,099																																
Brandstyrkan ar redan pa p...	,092																																
Problem m a p indikering /...	,081																																
Tid for mottagning av larm/B3	,075																																
Problem m a p sikt / Diskr...	,072																																
Monterar slangen innan den...	,071																																
Rokdykning maste avbrytas...	,054																																
Fel pa CDAn / Diskret/F13	,052																																
Problem m a p fysiskt skyd...	,052																																
<p>Variabler med störst tidsbidrag:</p>	<p>Tid för släckning Tid från larm tills brandstyrkan är vid angreppsport Utspriid personal på olika jobb, eller på zonindelad område Tid för mottagning av larm Tid vid dörren Problematiskt att välja släckmetod</p>																																

## Bilaga B: Enkäter och frågeguider

### Intervju med driftvakt

#### Uppkomst av larm

1. Har alla i KR ett delat ansvar att läsa av brandlarm, eller ligger det på någon speciell?
2. Hur ofta uppkommer brandlarm? (ej övning)
3. Vilken typ av larm är det? (Ljudande, blinkande?)
4. Är det olikt andra typer av larm, eller finns det risk för sammanblandning, eller att det försvinner i mängden?
5. Är det möjligt att missa ett brandlarm?
6. Kommer varje deckare upp för sig på larmlistan på CDAn?
7. Händer det att man får problem med indikation på CDAn? (Hur ofta?)
8. Finns det alltid någon i KR som kan avläsa brandlarmscentralen? (Kan alla?)
9. Får nya personer träning i att avläsa brandlarmscentralen?
10. Hur lång fördröjning kan det medföra om man måste gå dit och avläsa?

#### Efter konstaterat larm

11. Krävs det att fler än en detektor larmar innan BC kontaktas?
12. Kontaktas BC med radio eller telefon? (Problem med utrustning?)
13. Vilken information förmedlas till BC?
14. Hur lång tid tar det?
15. Händer det att det uppstår missförstånd med avseende på vilket rum det brinner i, eller vilken angreppsport som ska användas?
16. Händer det att KR missar att slå om Forsmarksradion till ”brand 1”? (Hur ofta?)
17. Vad händer i KR efter att BC informerats?
18. Blir det en ovanligt stressad situation i KR, eller bara ”större press”? (Alltså, får alla plötsligt mycket att göra, eller kan man koncentrera sig på den uppkomna situationen?)

#### Frågor om insatsen

19. Brandmännen menar att det ibland är problem med radiokommunikation i byggnaden eftersom det blir radioskugga. Är det något som ni har märkt av? På speciella platser?
20. För att gå in och utföra släckning i vissa utrymmen vill brandstyrkan att åtminstone delar av ett utrymme är spänningsfritt, för att det inte ska vara förenat med livsfara att gå in och släcka. Möjligt att slå ifrån 6 kV? Hur lång tid tar det? Och om man vill slå ifrån 500 V? (**Se lista på sista sidan!**)
21. Går det att ta reda på vilka delar av ett kabelschakt/kulvert som brinner genom att se på larmlistan? (tex utebliven funktion från något system, utebliven indikation från system eller obefogade starter?)
22. Kan man ta reda på exakt vilka kablar som går i ett visst schakt (via layouter)?
23. Om brandmännen inte kan gå in i ett rum på grund av högspänning, men kan uppge vilken sub som brinner. Är det då möjligt att göra den spänningslös? (Tex i)
24. Hur lång tid kan det ta?
25. Finns det situationer då man hellre vill ha kvar all spänning för att behålla någon funktion, mot att man riskerar att förlora två subar inom en kort tidsperiod?
26. Indikering på om larm inte fungerar, eller detektor ställt på ”fel” läge? (Testläge eller på värme)
27. Om något system är ställt på manuell? (brandventilation, vattensprinkler?)
28. Hur upptäcks fel på detektorer eller sprinklersystem? Momentant eller via tester?
29. Vad skulle hända om signalkablar i en kabelkulvert mellan E- och C-byggnaden brann av? Vad gör man?
30. Om brand uppstår i kabelvåningar kommer inte brandstyrkan att vilja gå in och släcka. Där är inte sprinklat. Vad händer om brand uppstår i ett sådant utrymme? Har man otur är står även någon dörr där emellan öppen, vi har påkommit en av dem oläst ett flertal gånger.

[Tabell med utrymmen avlägsnad från bilaga]