

Analys av brandskyddets egenskaper

Krister Carlens

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

**Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet**

Report 5201, Lund 2006

Analys av brandskyddets egenskaper

Krister Carlens

Lund 2006

Analys av brandskyddets egenskaper

Krister Carlens

Report 5201

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5201--SE

Number of pages: 67

Illustrations: Krister Carlens

Keywords

Fire protection system, performance based requirements, technological trade off, system attributes.

Sökord

Brandskyddssystem, funktionsbaserade regler, tekniska byten, systemegenskaper.

Abstract

This graduation project examines to study how analysis of different fire protection attributes shall be carried out using technological trade-offs. The purpose of this report is to develop guidance for engineers to verify technological trade-offs, and therefore make a more reliable verification.

The report shows that safety levels of fire protection as multidimensional. Therefore, several system attributes must be analysed in order to verify that levels of protection comply with Building Regulations at each technical trade-off. For later use in a fictional case, seven system attributes of fire protection are analysed in detail in this report. The result of the report confirms the lack of methods for analysing system attributes of fire protection system. The report shows that theories and line of argument from other disciplines can also be used in fire safety design. In Building Regulations the demands and recommendations are expressed in such a way that it is often difficult to interpret criteria for acceptance of system attributes for fire protection.

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

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Förord

Examensarbetet utgör en obligatorisk del av Riskhanteringsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Riskhanteringsprogrammet är en civilingenjörsutbildning, som omfattar 180 poäng, där examensarbetet utgör de sista 20 poängen. Detta examensarbete har utförts i samarbete med Brandgruppen AB, som bedriver konsultverksamhet inom brandskyddsprojektering. Dagligen bedrivs även projektering av brandskyddssystem med släcksystem, såsom automatisk vattensprinkler.

Håkan Frantzich, verksam som universitetslektor på avdelningen för Brandteknik vid LTH, har verkat som handledare för examensarbetet. Frantzich har lång erfarenhet inom området riskanalys, riskhantering vid brandteknisk projektering samt utrymning vid brand.

Robert Jönsson, programansvarig för Riskhanteringsprogrammet på LTH, har verkat som examinator för detta examensarbete.

Sammanfattning

I snart 15 år har funktionsbaserade regler använts för dimensionering av brandskydd i byggnader. De funktionsbaserade reglerna beskriver *vad* brandskyddet måste uppfylla och inte *hur* brandskyddet måste utformas för att uppfylla reglerna. I de funktionsbaserade reglerna har projektören möjlighet att dimensionera brandskyddet på alternativa sätt som är anpassade för den specifika byggnaden.

Brandskyddet i en byggnad utformas enligt två tillvägagångssätt, genom förenklad eller analytisk dimensionering. Vid förenklad dimensionering följs de krav och allmänna råd som finns i Boverkets Byggregler och Boverkets rapporter. I annat fall blir analytisk dimensionering aktuellt. När andra skyddsåtgärder tillämpas än den av Boverket föreskrivna, sker ett så kallat tekniskt byte. Vid analytisk dimensionering krävs en verifiering att skyddsnivån hos det nya brandskyddet inte understiger skyddsnivån hos brandskyddet som erhålls genom förenklad dimensionering. Forskning (Lundin 2001) visar att denna verifiering ofta är bristfällig. En anledning till det är att för få egenskaper hos brandskyddet analyseras. Konsekvensen blir att verifieringen blir otillräcklig och risk för skenbar säkerhet uppstår.

Denna rapport är upprättad för att studera hur analysen av brandskyddets egenskaper bör ske vid tillämpning av tekniska byten. Rapportens syfte är att ta fram en vägledning som projektören kan använda vid verifiering av tekniska byten, och på så sätt skapa en mer tillförlitlig verifiering.

Inledningsvis har en litteraturstudie genomförts för att belysa problematiken kring verifiering av tekniska byten samt hur brandskyddets egenskaper ska analyseras. Litteraturstudien har även sträckt sig över flera områden för att se hur systemegenskaper analyseras i andra sammanhang, för att sedan se om analysmetoder kan överföras till brandteknisk dimensionering.

I rapporten har sju egenskaper valts ut som har betydelse för skyddsnivån hos brandskyddet. Dessa egenskaper studeras i detalj, och appliceras på ett vanligt tekniskt byte, nämligen automatisk vattensprinkler. Automatisk vattensprinkler är en skyddsåtgärd som påverkar flera av brandskyddets egenskaper positivt, och är således ett vanligt förekommande tekniskt byte.

Efter att de sju egenskaperna analyserats utifrån ett brandtekniskt perspektiv tillämpas egenskapsanalysen i ett fiktivt fall. I det fiktiva fallet används automatisk vattensprinkler som tekniskt byte för inomhusbrandposter i en matvaruaffär. Denna alternativa utformning finns som råd i Boverkets Byggregler och faller under förenklad dimensionering. Det fiktiva fallet används eftersom tyngdpunkten ligger i att visa hur analysen av egenskaper ska gå till och inte det tekniska bytet i sig. Det fiktiva fallet visar att egenskapsanalys är ett nödvändigt sätt för att verifiera att ingen reduktion skett genom det tekniska bytet.

Rapporten framhäver flera möjligheter och problem som kan uppstå vid analys av brandskyddets egenskaper vid tekniska byten. Här sker en sammanfattning av resultaten ur rapporten:

- Skyddsnivån hos brandskyddet är flerdimensionellt, vilket medför att väsentliga egenskaper måste analyseras för att verifiera det tekniska bytet.
- Traditionellt sätt sker verifiering med hjälp av riskanalysmetodik. Denna metodik kan inte hantera flera av egenskaperna som påverkar skyddsnivån. Därför krävs en kompletterande egenskapsanalys.
- Det finns få vedertagna metoder för att analysera brandskyddets egenskaper. Möjlighet finns dock att använda teorier och resonemang från andra områden där system analyseras. Emellertid krävs mer forskning för att ta fram metoder för egenskapsanalys som är tillämpbara i brandtekniska sammanhang.
- Flera av brandskyddets egenskaper påverkar varandra. Det medför att förändringar i en egenskap resulterar i konsekvenser för en eller flera andra egenskaper.

- Avsikten med vissa krav och råd i Boverkets Byggregler är diffusa, vilket försvårar egenskapsanalyser. Det medför att en relativ jämförelse kan tillämpas mellan egenskaperna hos det nya brandskyddssystemets och det som erhålls genom förenklad dimensionering.

Summary

For almost 15 years performance-based regulations have been used for the fire protection design in buildings. These performance-based regulations describe *what* the fire protection must fulfil and not *how* the fire protection must be designed to comply with these rules. Through these regulations the fire protection engineer has the possibility to find alternative ways to design the fire protection, so that they will be adapted for the specific building.

There are two ways to design the fire protection in a building, through perspective and analytical design. Perspective design follow the demands and general recommendations that can be found in the Building Regulations and in the reports from the Swedish national board of building, housing and planning (Boverket). The design through other methods is called analytical design. When other fire protection measures are applied, besides the ones that have been mandatory placed by Boverket, a so called technological trade-off occurs. Analytical design requires a verification that the level of protection does not reach a lower level of protection received by prescriptive design. Research (Lundin 2001) show that the verification often is faulty. One of the reasons is that too few attributes have been analyzed. The consequences are that the verification becomes insufficient and the risk of apparent safety arises.

This report is created to study how the analysis of system attributes of fire protection should be developed for application of the technical trade-off. The purpose of this report is to develop a guidance that the engineer can use at the verification of the technical trade-off, and therefore make a more reliable verification.

To begin with, a study of literature has been carried out to illustrate the problems involving verification of the technical trade-off, and to see how system attributes of fire protection should be analysed. The study of literature has also been extended over several different areas to be able to identify how the system attributes are analysed in other coherences. This study has been created to analyze if the method of analysis can be transferred to fire safety design.

In this report seven attributes that are important to the level of protection of fire protection have been chosen. These attributes have been studied in detail and are applied on a normal technological trade-off, such as traditional sprinkler systems. Traditional sprinkler systems are a measure of protection that serves as a positive effect on several system attributes of the fire protection, and are therefore usually used as technological trade-off.

When these seven attributes have been analysed from a fire protection perspective, the analysis is applied to a fictional case. In this fictional case the traditional sprinkler systems are used as a technical trade-off for fire hose in a grocery store. This alternative design is a recommendation that can be found in the Building Regulations and falls under perspective design. The fictional case is used since the emphasis is on how the analysis of the attributes should happen, and not the actual technical trade-off itself. The fictional case shows that the analyses of system attributes are necessary to verify that no reduction of safety has occurred using the technological trade-off.

The report shows several possibilities and problems that can arise during an analysis of system attributes of the fire protection at a technological trade-off. Here is a conclusion from the results of the report:

- The report shows that a safety level of fire protection is multidimensional, which lead to the fact that important attributes have to be analysed to verify the technical trade-off.
- Traditionally the verification is carried out using methodology of risk-analysis. This methodology cannot handle several of the attributes that influence the level of protection. Therefore, a complementary analysis of the attributes is needed.

- There are few generally accepted methods for analysing the attributes of the fire protection. It could be possible to use other theories and line of arguments from other areas where systems are analysed. However, more research is needed to develop other methods for the analysis of attributes that can be applied to Fire protection context.
- Several attributes for the fire protection have an influence on one another. Therefore, changes within an attributes result in consequences for one or several of the other attributes.
- The intention with some of the demands and recommendations in the Building Regulations are diffuse, which makes the analysis of the attributes more difficult. Therefore, a relative comparison can be applied between the attributes within the new fire protection system and the one received by perceptive dimensioning.

Förord	4
Sammanfattning	5
Summary	7
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	15
1.3 Målsättning	15
1.4 Avgränsningar	16
1.5 Metod	16
2 Brandskyddssystem	17
2.1 Brandskyddet som ett hierarkiskt system	17
2.1.1 Nivå 1 Övergripande målsättning	18
2.1.2 Nivå 2 Delmål	18
2.1.3 Nivå 3 Strategier	19
2.1.4 Nivå 4 Skyddsåtgärder	19
2.1.5 Nivå 5 Underkomponenter	19
2.2 Brandskyddets egenskaper	20
3 Automatisk vattensprinkler	21
3.1 Projektering av sprinkler	21
3.1.1 Riskklasser	22
3.1.2 Vattentäthet och verkningsyta	22
3.2 Utformningen av vattensprinkler	22
3.2.1 Larmöverföring	23
3.3 Boendesprinkler	23
3.3.1 Projektering av boendesprinkler	24
3.4 Erfarenheter av användning automatisk vattensprinkler	24
4 Hantering av osäkerheter	29
4.1 Acceptabel nivå på osäkerhetsanalysen	30
5 Brandskyddssystemets egenskaper	31
5.1 Funktionen	31
5.1.1 Funktionen hos enskilda skyddsåtgärder	32
5.1.2 Funktionen hos brandskyddssystemet	33
5.2 Tillförlitlighet	33
5.2.1 Tillförlitligheten hos enskilda skyddsåtgärder	34
5.2.2 Tillförlitligheten hos brandskyddssystemet	34
5.3 Mänskligt agerande	35
5.3.1 Mänskligt felhandlande	35
5.3.2 Hantering av mänskliga felhandlingar	36
5.3.3 Mänskligt agerande i enskilda skyddsåtgärder	37
5.3.4 Mänskligt agerande i brandskyddssystemet	38
5.4 Komplexitet	39
5.4.1 Brandskyddssystemets komplexitet	41
5.4.2 Brandskyddsstrategins komplexitet	41
5.5 Flexibilitet	41
5.5.1 Flexibilitet hos enskilda skyddsåtgärder	42
5.5.2 Flexibilitet hos brandskyddssystemet	42
5.6 Känslighet	43
5.6.1 Känslighet hos enskilda skyddsåtgärder	43
5.6.2 Känsligheten i brandskyddssystemet	43
5.7 Sårbarhet	43
5.7.1 Hot	44
5.7.2 Sårbarhet i brandskyddssystemet	45
6 Analys av brandskyddets egenskaper	46
6.1 Förändringar i funktionen	46

6.2	Förändringar i brandskyddssystemets tillförlitlighet.....	48
6.3	Förändringar i människans roll i brandskyddssystemet	50
6.4	Förändringar i brandskyddssystemets komplexitet	50
6.5	Förändringar i brandskyddssystemets flexibilitet.....	51
6.6	Förändringar i brandskyddssystemets känslighet	51
6.7	Förändringar i brandskyddssystemets sårbarhet.....	52
6.8	Beslut utifrån egenskapsanalysen.....	53
7	Diskussion	55
8	Slutsatser.....	57
9	Referenser.....	58
	Bilaga A Klassificering av typiska verksamheter	61
	Bilaga B Human Reliability Assessment.....	63
	Bilaga C Metod för sårbarhetsanalys	65
	Bilaga D Hierarkisk struktur på brandskyddsstrategin i byggnaden	67

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan 1994 används funktionsbaserade regler för dimensionering av brandskydd i byggnader. De funktionsbaserade reglerna lägger vikt i funktionen hos brandskyddet och beskriver inte i detalj hur brandskyddet ska vara utformat för att uppfylla sin funktion. I ett historiskt perspektiv har regelverken för brandskydd i byggnader varit detaljstyrda (preskriptiva) och vissa detaljkrav återfinns fortfarande som råd i det funktionsbaserade regelverket (Becker 2000). Vid användning av de preskriptiva reglerna, som användes fram till 1994, kunde projektören följa detaljkraven och på så sätt erhålla ett brandskydd som ansågs uppfylla bygglagstiftningen. Däremot kunde de preskriptiva byggreglerna medföra att den byggnadstekniska utformningen begränsades. Maximalt 30 meter till närmsta utrymningsväg är ett exempel på en stark rekommendation som ställdes i de preskriptiva byggreglerna. Därmed begränsades öppenheten i lokalerna. ”30-metersregeln” finns kvar i nuvarande funktionsbaserade byggregler för vissa typer av verksamheter såsom samlingslokaler, men då endast som råd (Johannsson & Lundin 1999). Införandet av de funktionsbaserade byggreglerna har, i många avseende, medfört ett mer optimerat brandskydd (Frantzich, Lundin & Magnusson 1997).

De funktionsbaserade kraven beskriver *vad* som ska uppfyllas genom följande termer:

- Tillfredställande utrymning
- Förhindra eller begränsa brand- och brandgasspridning
- Tillräcklig hållfasthet

Vidare är det inte detaljstyrt *hur* brandskyddet måste vara utformat för att uppfylla de funktionsbaserade kraven. I de funktionsbaserade reglerna har projektören möjlighet att dimensionera brandskyddet på alternativa sätt som är anpassade för den specifika byggnaden, dock måste alltid bygglagstiftningen följas.

Samhällets krav på byggnadstekniskt brandskydd återfinns i lagar och förordningar som beslutas av Sveriges Riksdag och Regering. De lagar som styr hur byggnaden ska utformas, och därigenom brandskyddet i byggnaden är:

- Plan- och bygglagen (PBL 1987:10) med förordning (PBF 1987:383)
- Lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m. (BVL 1994:847) med förordning (BVF 1994:1215)

I Byggnadsverksförordningen, BVF, finns följande egenskapskrav specificerade, vilka medför krav på brandskydd:

4 § Byggnadsverk skall vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att:

1. Byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid
2. Utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas
3. Spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas
4. Personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt
5. Räddningsmanskapets säkerhet vid brand beaktas

Figur 1. Egenskapskrav i byggnadsverksförordningen 4 § (1994:1215).

Det finns två tillvägagångssätt för att dimensionera brandskydd, genom *förenklad* eller *analytisk dimensionering*. Vid förenklad dimensionering följs de krav och allmänna råd i Boverkets Byggregler (BBR) och Boverkets rapporter som är relevanta för byggnaden. Dimensionering med andra metoder benämns analytisk dimensionering. Skillnaden mellan de två tillvägagångssätten illustreras i *figur 2*.

Krav i BBR efterlevs		Ett eller flera krav i avsnitt 5:3-5:9 efterlevs inte
Krav, allmänna råd och Boverkets rapporter följs. (Referenssystem)	Delar av kraven i föreskriften uppfylls med andra lösningar och metoder.	Alternativ utformning enligt avsnitt 5:11.
Förenklad dimensionering		Analytisk dimensionering

Figur 2. Tillvägagångssätt vid brandteknisk dimensionering enligt Boverkets Byggregler.

Vid användning av den förenklade dimensioneringen måste alla, för byggnaden relevanta, detaljkrav och råd som finns i BBR, Boverkets rapporter etc. följas. Användning av den förenklade dimensioneringen medför lägre projekteringskostnader eftersom brandskyddet utformas efter rekommendationer. Den förenklade dimensioneringen lämpar sig väl för traditionella byggnader med okomplicerad utformning (Brandskyddshandboken 2005). Dimensioneringsmetoden kräver generellt en låg grad av verifiering vilket i sin tur ger lägre projekteringskostnader som en naturlig följd.

Den förenklade dimensioneringen medför att ett visst brandskyddssystem erhålls, och följaktligen en viss nivå på brandsäkerheten. Denna säkerhetsnivå används ofta som referens vid analytisk dimensionering, vilket inte är helt problemfritt. Säkerhetsnivån hos brandskyddet i olika samlingslokaler varierar kraftigt om förenklad dimensionering används, eftersom vissa faktorer som exempelvis takhöjden inte beaktas vid denna dimensionering. Takhöjden är en viktig faktor för hur snabbt kritiska förhållanden uppstår för de utrymmande, och således blir säkerhetsnivån olika inom samlingslokaler (Lundin 2004).

Det finns vissa reduceringar av byggnadens tekniska brandskydd som är accepterade inom ramen för förenklad dimensionering. Flera av dessa tillåts vid installation av automatisk vattensprinkler. Reduceringsarna finns dokumenterade i BBR och Boverkets rapporter (Boverket 2004) i samband med installation av automatisk vattensprinkler. Följande reduceringar faller under förenklad dimensionering:

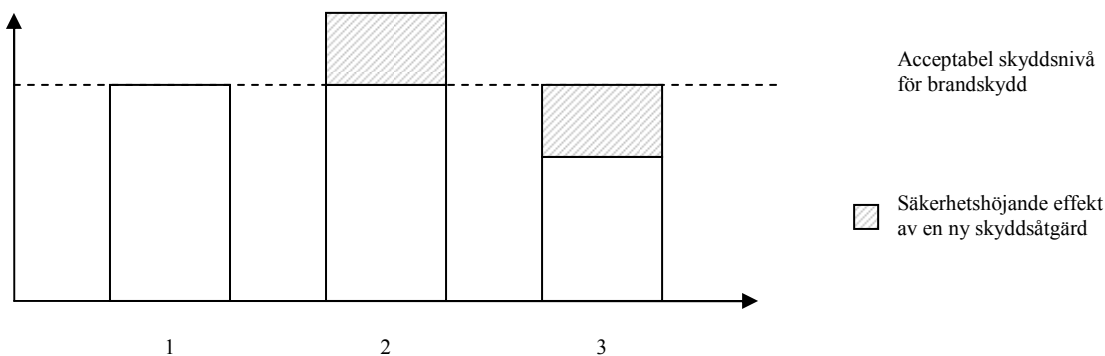
- Brandceller i fler än två våningar om särskild utredning visar att kraven i avsnitt 5 uppfylls (BBR 5:61)
- Bärande och avskiljande konstruktioner får dimensioneras efter $<200 \text{ MJ/m}^2$ brandbelastning i Br1-byggnader (BBR 5:621)
- Lägre klass på fasad i Br1-byggnader (BBR 5:631)
- Reducerad brandgasventilation av källare (BBR 9:21)
- Mindre antal/inga inomhusbrandposter (BBR 5:93)
- Ökning av gångavstånd till närmaste utrymningsväg med 1/3 kan tillämpas vid installation av vattensprinkler (Boverket, 2004)

Förenklad dimensionering är inte lämpbar för byggnadsverk där det finns liten erfarenhet. Nya typer av byggnader och verksamheter medför ny problematik vilket gör att den traditionella utformningen inte är lämplig. I dessa fall bör analytisk dimensionering tillämpas. Projektering av brandskydd i höga byggnader är ett exempel då analytisk dimensionering bör användas eftersom denna byggnadstyp är relativt ovanlig i Sverige (Brandskyddshandboken 2005).

Vid avsteg från kraven och vid annan utformning än råden i BBR blir analytisk dimensionering aktuell. Denna dimensioneringsmetod används då kraven i BBR uppfylls, men med *andra lösningar och metoder* än de som finns i rådtexen, eller om en *alternativ utformning* används och något krav i avsnitt 5:3-5:9 inte efterlevs. Se figur 2. Analytisk dimensionering kan ske genom beräkning, provning eller objektspecifika försök samt kombinationer av dessa enligt avsnitt 5:13 i BBR. Det står projektören fritt att välja mellan dessa metoder, men metoden som väljs måste naturligtvis vara tillämpbar för det specifika objektet.

Vid dimensionering av brandskyddet är det byggherrens ansvar att visa att säkerhetsnivån uppfyller samhällets krav på brandsäkerhet. För att visa att brandskyddet är tillfredställande anlitar byggherren, vid behov, en brandteknisk sakkunnig som påvisar detta. Det finns inga direkta metoder eller tillvägagångssätt för projektören av brandskyddet att hämta i BBR, utan projektören av brandskyddet måste själv välja metoder som han/hon anser lämpliga. Till sin hjälp finns handböcker med vägledning för analytiskt dimensionering som exempelvis Brandskyddshandboken (2005) och Fallqvist, Klippberg & Wallin (2002).

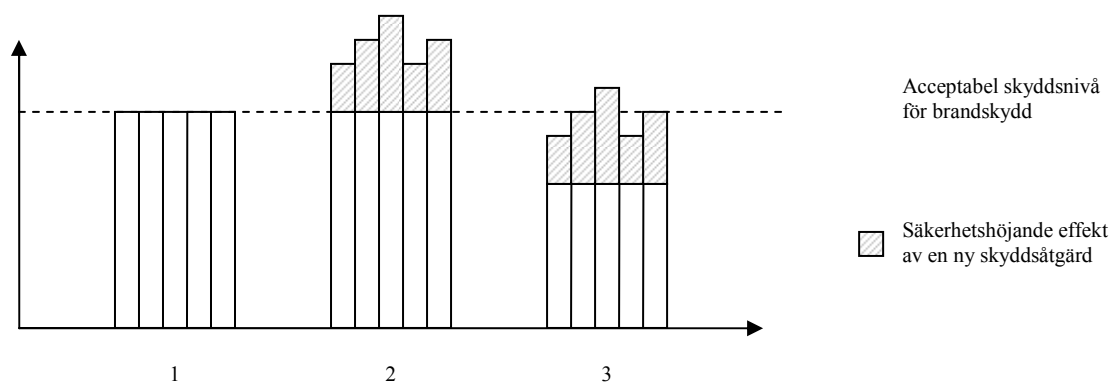
När en eller flera skyddsåtgärder väljs bort sker en reducering av skyddsnivån för brandskyddet. För att motverka denna reducering används *tekniska byten* där andra skyddsåtgärder används istället för de enligt BBR föreskrivna. Typen och antalet skyddsåtgärder som ersätts genom det tekniska bytet varierar beroende på hur positiv inverkan ersättningssystemet har för brandskyddets skyddsnivå. *Figur 3* visar hur avsteg och tekniska byten påverkar brandskyddsnivån i byggnaden. Stapel (1) visar skyddsnivån för det brandskydd som utformats efter förenklad dimensionering. Stapel (2) och (3) visar ett tekniskt byte där en skyddsåtgärd installeras, vilket medför att reduceringar kan göras utan att byggnadens totala brandskydd reduceras.



Figur 3. Avsteg och tekniska byten påverkan på skyddsnivån på brandskyddet.

Figur 3 visar en mycket förenklad bild av hur skyddsnivån förändras genom det tekniska bytet. I praktiken är det betydligt svårare att jämföra hur skyddsnivån ändras vid avsteg och tekniska byten. Problematiken uppstår när den säkerhetshöjande effekten som den reducerade skyddsåtgärden har ska mätas och jämföras med den ersättande skyddsåtgärdens effekt.

Varje skyddsåtgärd har säkerhetshöjande effekter på det totala brandskyddet. Storleken och typen hos denna effekt är beroende av hur skyddsåtgärden påverkar det totala brandskyddet. Detta visar sig genom att brandskyddets egenskaper förändras. En skyddsåtgärd kan exempelvis minska sårbarheten hos brandskyddet, vilket i sin tur ökar brandskyddsnivån. En annan skyddsåtgärd bidrar till ökad flexibilitet hos brandskyddet. De två nyss nämnda skyddsåtgärderna inverkar på skyddsnivån hos brandskyddet positivt, men genom att påverka två olika egenskaper. Skyddsnivån hos brandskyddet är således flerdimensionell och förändringar måste beaktas genom förändringar i fler olika egenskaper. Se *figur 4*.



Figur 4. Avsteg och tekniska bytens påverkan på skydds nivån på brandskyddet betraktas flerdimensionellt.

Det är enligt forskning (Lundin 2001) vanligt förekommande att skydds nivån endast beaktas genom en eller ett fåtal egenskaper vid verifiering av det tekniska bytet. Verifieringen visar då en ofullständig bild av brandsäkerhetsnivån, vilket leder till en skenbar säkerhet. Denna brist uppkommer till följd av flera olika anledningar. En anledning beror på avsaknad av metoder och kunskap för analys av egenskaperna när de sätts in i brandtekniska sammanhang (Lundin 2001).

Verktyg som blir allt vanligare inom analytisk dimensionering är *riskanalysmetoder*. Dessa metoder används för att t.ex. studera den brandrisk som personerna utsätts för genom att befinna sig i byggnaden.

Riskbegreppet har flera olika definitioner beroende på vilket sammanhang det används i och hur riskproblematiken angrips. Inom brandteknisk projektering tillämpas i huvudsak det tekniska perspektivet, som beskrivs genom följande trippel. Trippeln är framtagen av Kaplan (1997).

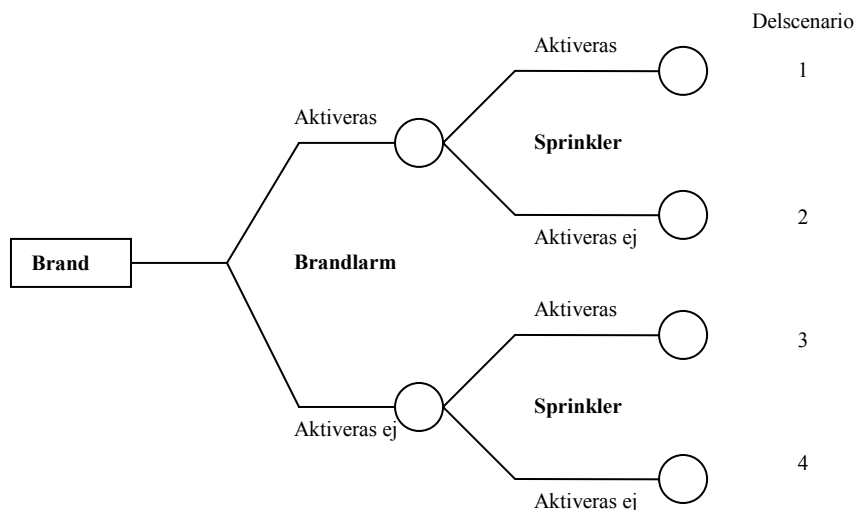
$$R = \{S_i, L_i, X_i\}_C$$

Där:
S är möjliga scenarion
L är sannolikheten för respektive scenario samt
X är konsekvensen för respektive scenario

Definitionen kan ses som något begränsad eftersom det är möjligt att studera riskbegreppet utifrån andra vinklar. Frågor beträffande varför vissa situationer uppfattas som risker eller varför människor uppfattar händelsen som olika riskfylld kan inte förklaras genom Kaplans definition. Dessa frågor betraktas när riskbegreppet ses i ett socialkonstruktivt perspektiv. För en mer detaljerad beskrivning, se Nilsson (2003) eller Renn (1998).

De riskanalyser som används är av *kvalitativ* eller *kvantitativ natur*. Kvalitativa riskanalyser är analyser som med ord beskriver risken. Det är inte ovanligt att kvalitativa metoder används som en inledande del i en kvantitativ riskanalys för att sälla bort risker som är försumbara i den totala riskbilden (Nilsson 2003). Exempel på kvantitativa metoder är HazOp, What-if och checklistor.

I de kvantitativa riskanalysmetoderna sker en numerisk analys av sannolikheten och konsekvensen för olika händelser. Vedertagna metoder som är kvantitativa är bl.a. Quantitative Risk Analysis (QRA) och Probabilistic Risk Analysis (PRA). Tillvägagångssättet i QRA innebär att sannolikheten och konsekvensen för olika scenarion studeras för att sedan skapa en sammanställd riskbild i byggnaden. PRA påminner om QRA men är mer detaljerad. Händelseförloppet bryts ner i delar och sannolikheter analyseras för respektive delmoment. Ett händelseträd är ett användbart sätt att illustrera hela händelseförloppet i flera delmoment.



Figur 5. Exempel på ett händelsetråd där två tekniska skyddsåtgärder beaktas.

Genom att studera risken för personer och egendom kan en relativ jämförelse genomföras för att säkerställa att skyddsnivån uppfylls. Det nya brandskyddssystemet jämförs då relativt det som erhålls genom förenklad dimensionering. Exempel på andra lösningar och metoder finns i diverse handböcker (Fallqvist, Klippberg & Wallin 2002 och Brandskyddshandboken 2002) och kräver generellt en lägre verifieringsgrad. Dock kan inte verifieringen uteslutas helt.

Probabilistiska riskanalysmetoder ger ett bra underlag för beslutsfattande. Det finns dock fall då de riskbaserade beslutsmetoderna inte är tillräckliga. Brandskyddet i en byggnad har fler egenskaper som påverkar skyddsnivån. Egenskaper som inte alltid kan analyseras med hjälp av riskanalysmetodik, men som samtidigt är avgörande för skyddsnivån på brandskyddet. Egenskaper som sårbarhet, flexibilitet och komplexitet är exempel på egenskaper som har stor betydelse för brandskyddets skyddsnivå. Inom andra discipliner har denna problematik analyserats, vilket har resulterat i olika strategier som kompletterar bristerna i riskanalysmetodiken. Inom kärnkraftsindustrin och processindustrin, där skyddssystem är en väsentlig del av verksamheten, har denna problematik beaktats. Inom brandskyddsprojektering har denna diskussion hamnat på efterkälken, vilket konstaterats i undersökningar (Lundin 2001). En anledning till det är att det finns få eller inga metoder för att analysera brandskyddets egenskaper. I *figur 4* illustreras skyddsnivån för brandskydd flerdimensionellt vilket är nödvändigt för att visa hur brandskyddets skyddsnivå påverkas av det tekniska bytet. Det finns idag få metoder för att visa vilka egenskaper som är väsentliga att analyseras. Vidare råder oklarheter om hur brandskyddets egenskaper ska mätas och hur de riktas mot varandra. Dessa brister resulterar i att verifiering vid analytisk dimensionering blir missvisande om inte ett vidare perspektiv används.

1.2 Syfte

Detta arbete ska presentera en vägledning som kan användas i analysen av förändringar i brandskyddets egenskaper vid verifiering av det nya brandskyddet. Vägledningen ska underlätta för brandskyddsprojektören att beakta de egenskaper som påverkas vid exempelvis tekniska byten och på så sätt bidra till en mer tillförlitlig verifiering.

1.3 Målsättning

Målet med arbetet är att ta fram en vägledning för hur brandskyddets egenskaper kan analyseras. Vägledningen är tänkt att användas vid den verifiering som är erforderlig vid avsteg från krav, eller vid annan utformning än råden i BBR.

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet är tidsbegränsat till 20 veckor. Rapporten avgränsas till tekniska byten med traditionell vattensprinkler och boendesprinkler.

1.5 Metod

Litteraturstudier genomförs för att få en insikt om problematiken vid brandteknisk projektering. Vidare görs litteratursökningar inom andra områden för att finna teorier och metoder för hur egenskaper bör hanteras. Detta för att se om det är möjligt att använda teorierna på ett brandskyddsproblem.

2 Brandskyddssystem

För att reducera brandrisken för människor, egendom och andra intressen, förses byggnader med brandskydd. Oavsett hur byggnaden är uppförd, eller hur den används, måste egenskapskraven i 4 § i BVF vara uppfyllda. Genom att installera ett brandskyddssystem som är anpassat för det aktuella objektet uppfylls egenskapskraven. En byggnad med fler antal våningar och hög personbelastning erfordrar exempelvis mer skyddsåtgärder, än en enplansbyggnad med låg personbelastning, för att uppfylla egenskapskraven.

Byggnaden upprättas med tekniska skyddsåtgärder som utgör fysiska delar i byggnaden, t.ex. brandcellsgränser och brandgasventilation. Utöver de tekniska brandskyddsåtgärderna tillämpas organisatoriska åtgärder som utbildning, drift och underhåll. De organisatoriska skyddsåtgärderna regleras inte genom BBR, utan genom Arbetsmiljöverkets och Räddningsverkets föreskrifter. I Statens Räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbetet (SRVFS 2004:3) finns rekommendationer om hur det organisatoriska brandskyddsarbetet bör bedrivas efter krav i Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor. Arbetsmiljöverkets föreskrifter omfattar arbetsplatser och dess verksamhet och således inte bostäder.

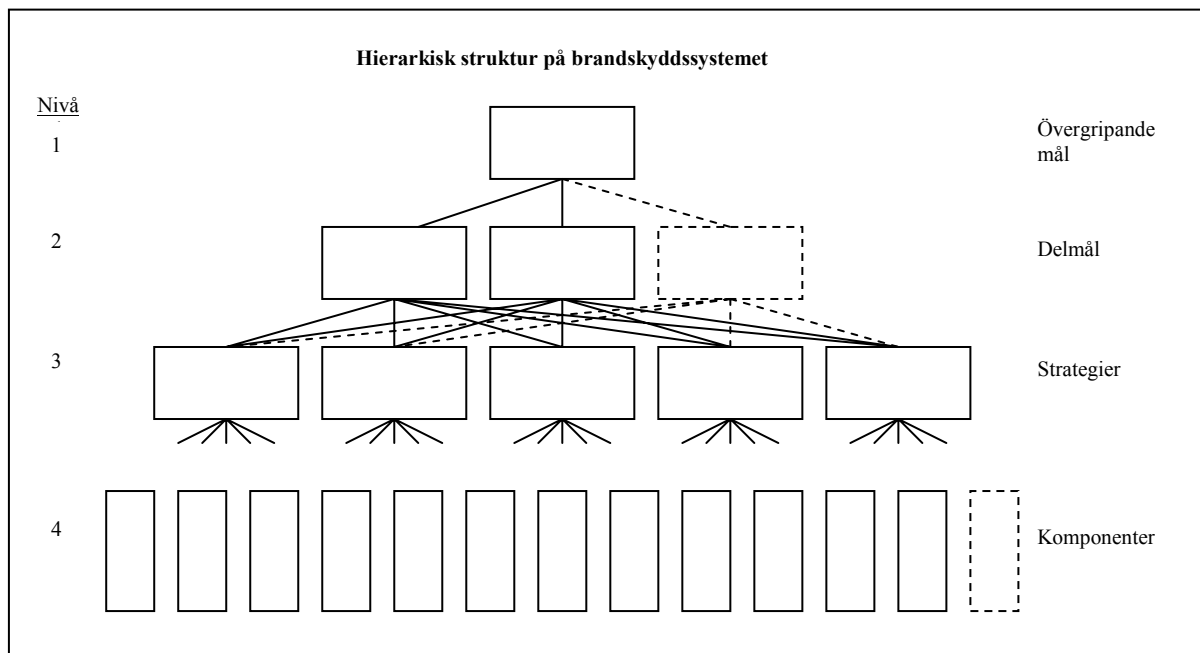
2.1 Brandskyddet som ett hierarkiskt system

Samtliga brandskyddsåtgärder ska tillsammans bidra till ett tillfredställande brandskydd, och på så sätt eliminera eller reducera brandrisken i byggnaden till acceptabla nivåer. Denna övergripande målsättning är ett krav för byggnader. För att uppfylla målsättningen kan vissa delmål formuleras. Dessa delmål uppnås genom strategier. Strategierna uppfylls i sin tur genom effekter av en eller flera skyddsåtgärder. Följande indelning kan användas för att skapa en hierarkisk struktur på brandskyddssystemet som underlättar vid analys av brandskyddets egenskaper.

Tabell 1. Beslutshierarki för brandteknisk riskvärdering. Tabellen är en omarbetad version av den som Frantzich (2000) presenterar.

Nivå	Benämning	Beskrivning
1	Övergripande målsättning	Beskriver den övergripliga målsättningen med brandskyddet. Målen återfinns i PBL och BVL.
2	Delmål	Personsäkerhet, egendomsskydd, bevarande av kulturarv etc.
3	Strategi	Utgör de strategier eller taktiker som kan användas för att helt eller delvis uppfylla de delmål som anges i den andra nivån. Vid ny- eller ombyggnation utgörs strategierna av bl.a. egenskapskraven i 4 § BVF.
4	Skyddsåtgärd	Skyddsåtgärderna utgör tillsammans brandskyddet i byggnaden. Exempel på komponenter är brandcellsgräns, ytskikt, gångavstånd etc. Valet av dessa påverkas av vilken dimensioneringsmetod som används.
5	Underkomponent	Det kan i vissa fall vara nödvändigt att beakta underkomponenter. Underkomponenterna är faktorer som har stor/eller avgörande betydelse för skyddsåtgärderna.

Exempel på indelning av brandskyddet i byggnaden återfinns i *figur 6* samt i *bilaga D*. Figuren åskådliggör en strukturell indelning av brandskyddet i olika nivåer. Hur den hierarkiska strukturen ser ut, hur brandskyddet är uppbyggt, visar även på vilka egenskaper brandskyddet har.



Figur 6. Hierarkisk struktur på brandskyddssystemet. Källa: Frantzich (2000).

2.1.1 Nivå 1 Övergripande målsättning

Det övergripande målet beskriver vilken funktion brandskyddet har i byggnaden. Målsättning är att byggnaden ska ha ett skydd som medför säkerhet i händelse av brand enligt 2 § i BVL. Denna målsättning är generell och gäller alla byggnadsverk som uppförs eller ändras.

För att en byggnad ska uppfylla kravet på säkerhet vid händelse av brand måste följaktligen egenskapskraven i 4 § BVF vara uppfyllda. För vissa typer av byggnader, såsom kulturhistoriska byggnader finns det ytterligare lagstiftning som måste vara uppfyllt för att brandskyddet i byggnader ska anses som acceptabelt. Försäkringsbolag och andra intressenter kan likaså ställa krav på brandskyddet för att byggnaden och dess verksamhet ska vara försäkrade. Det är dock krav som ställs utöver bygglagstiftningen och är inte väsentliga för att uppfylla samhällets krav på brandsäkerhet.

2.1.2 Nivå 2 Delmål

För att uppfylla den övergripande målsättningen kan delmål formuleras efter *interna* och *externa* krav. Exempel på externa krav är personskydd, egendomsskydd, skydd av kulturhistoriskt värde etc. som ställs i lagar och förordningar. Vid ny- och ombyggnation är det främst person- och egendomsskydd som beaktas då dessa skydd upprättas genom egendomskraven i BVF.

I BBR är personskyddet det delmål som är prioriterat. Det visas främst genom att de funktionsbaserade kraven är inriktade på personskydd. Personskydd beskrivs bl.a. genom att byggnaden ska utformas så att tillfredställande utrymning kan ske (Boverket 2004). Beroende på vilken typ av byggnad som avses krävs olika omfattning av skyddsåtgärder för att uppfylla den tillfredställande utrymningen. För byggnader med hög personbelastning eller hög risk för personskada, exempelvis samlingslokaler, krävs fler skyddsåtgärder.

Det finns dock antydningar att BVF även ställer krav på egendomsskydd. I andra punkten i 4 § BVF finns en antydning till att även egendomsskydd ska beaktas vid brandskyddsprojektering, även om detta syfte inte framgår i BBR. Boverket menar att det inte direkt framgår att egendomsskyddet ska beaktas vid analytisk dimensionering, men nivån på egendomsskyddet ska motsvara samma nivå som erhålls

vid förenklad dimensionering (Lundin 2001). Otydligheten medför att det finns risk för att egendomsskyddet glöms bort.

Utöver person- och egendomsskydd kan det för vissa typer av byggnader behövas flera delmål för att uppfylla det övergripande målet. Dessa krav är specifika för byggnadstypen och verksamheten. I t.ex. byggnader med kulturhistoriskt värde ska även det kulturhistoriska arvet beaktas som en del av brandskyddets målsättning (Fällman & Hansing 1997).

Inom vissa verksamheter ställs interna krav på brandskyddet som utgör delmål utöver bygglagstiftningen. Det kan t.ex. vara interna föreskrifter som ska skydda en tillverkningsprocess eller utrustning som inte täcks av försäkringar. För att uppfylla den övergripande målsättningen måste de externa delmålen som ställs i lagstiftningen, samt eventuella interna föreskrifter vara uppfyllda.

2.1.3 Nivå 3 Strategier

För att uppnå delmålen används strategier. Dessa strategier beskriver hur delmålen ska uppfyllas. Vid ny- och ombyggnationer gäller egenskapskraven i BVF, vilka måste vara uppfyllda för att brandskyddsnivån ska motsvara samhällets krav på brandskydd. Egenskapskraven utgör fem strategier som måste vara uppfyllda för att byggnaden ska ha tillräckligt person- och egendomsskydd.

Dessa fem strategier är generella så att de passar till mångfalden av byggnadsverk och reducerar riskerna för och vid brand. Till dessa kan ytterligare strategier tillskrivas beroende på typ av byggnad och verksamhet. Om det finns flera delmål utöver person- och egendomsskydd i den ovanliggande nivån erfordras strategier utöver egenskapskraven i BVF. Brand- och rökspridning till rum med viktig processutrustning utgör ett exempel på strategi som tillkommer för att uppfylla delmål som uppkommer genom interna krav.

2.1.4 Nivå 4 Skyddsåtgärder

I BBRs rådtext finns en rad olika skyddsåtgärder som används i den förenklade dimensioneringen. Dessa skyddsåtgärder är tekniska eller organisatoriska. De tekniska installeras vid nybyggnation eller om en väsentlig ändring genomförs i byggnaden, medan de organisatoriska inrättas i verksamheten.

Skyddsåtgärderna är av aktiv eller passiv karaktär. De aktiva, såsom brandlarm, utrymningslarm och sprinkler, aktiveras på olika sätt när en brand uppkommer i lokalen. Detekteringen sker vanligtvis automatiskt genom värme- och/eller rökpåverkan. Alternativt kan även manuell aktivering ske. De passiva skyddsåtgärderna, såsom brandceller och gångavstånd, har ingen aktivering utan bidrar passivt till brandskyddet.

När andra system av skyddsåtgärder används som frångår den av Boverket rekommenderade blir analytisk dimensionering aktuell. Systemet av skyddsåtgärder som rekommenderas av Boverket är välbeprövade och erfarenhet visar att utformning fungerar i de flesta fall. Nya typer av byggnadsutformning, byggnadsmaterial och verksamheter kan exempelvis medföra att systemet av skyddsåtgärder, dvs. brandskyddssystemet, måste anpassas för att strategierna ska uppfyllas.

2.1.5 Nivå 5 Underkomponenter

Sannolikheten att skyddsåtgärderna i nivå 4 uppfyller sin funktion beror av en rad olika faktorer. Underhåll, utbildning och insatstid är exempel på faktorer (underkomponenter) som är avgörande för hur effektiva skyddsåtgärderna är. Flera av underkomponenterna utgörs av faktorer som styrs av hur det organisatoriska brandskyddet ser ut inom verksamheten, och blir på så sätt objektsspecifik.

I till exempel fängelser vilar ett stort ansvar på fångvårdarna som vid brand ska låsa upp för att patienterna ska kunna utrymma. Denna filosofi bygger på fångvårdarnas prestationer och är i behov av utbildning, övningar m.m. I BBR finns några dokumenterade begränsningar för hur det tekniska brandskyddet får utformas då försämrade omständigheter råder. Byggnader dit räddningstjänsten har

lång insatstid, finns restriktioner för hur brandskyddet får vara utformat vad gäller exempelvis utrymning med hjälp av räddningstjänsten och brandspridning mellan byggnader.

2.2 Brandskyddets egenskaper

Tidigare nämndes att brandskyddets uppbyggnad och struktur påverkar systemets egenskaper. En beskrivning av dessa inneboende egenskaper ger även en bild över hur systemet fungerar som helhet (Meister 1991). I vårt samhälle finns många olika typer av system, vissa är interaktioner mellan människor medan andra system är interaktioner mellan människor och tekniska inrättningar. Även om olika system skiljer sig åt kan de beskrivas genom de inneboende egenskaperna. Brandskyddet i en byggnad är ett skyddssystem, dvs. ett system som är ämnat för att skydda mot oönskade händelser och förhållanden. Egenskaper som är intressanta att studera vid förändringar i brandskyddet är givetvis beroende av vad som efterfrågas, men vid verifiering av brandskyddet är det först och främst de egenskaper som påverkar säkerheten som är av intresse.

Vilka egenskaper påverkar då säkerheten i brandskyddssystemet? Följande egenskaper är framtagna ur Meister (1991) och anpassade av Lundin (2001) för att beskriva ett brandskyddssystem:

- Funktion
- Tillförlitlighet
- Mänskligt agerande
- Brandskyddsstrategins komplexitet
- Brandskyddssystemets komplexitet
- Flexibilitet
- Känslighet
- Sårbarhet

Det finns självfallet fler egenskaper som brandskyddssystemet har, och ju fler som beaktas desto mer nyanserad beskrivning av brandskyddssystemet erhålls. Egenskaper som kostnad, estetisk utformning etc. påverkar också utformningen av brandskyddet, men behöver inte ha direkt påverkan på säkerheten. Exempelvis kan billiga skyddsåtgärder ha en större skyddshöjande effekt hos brandskyddssystemet. I avsnitt 5 beskrivs de olika egenskaperna mer ingående.

Egenskaperna hos ett brandskyddssystem ändras om systemets uppbyggnad förändras. Vid analytisk dimensionering installeras ett brandskyddssystem med andra skyddsåtgärder än vad Boverket rekommenderar. Således skiljer sig även egenskaperna hos brandskyddssystemen åt, vilket medför att skyddsnivåerna skiljer sig åt. Ett vanligt tekniskt byte är reduceringar av en eller flera skyddsåtgärder i samband med installation av automatisk vattensprinkler. Automatisk vattensprinkler är en skyddsåtgärd som är vanlig vid tekniska bytet eftersom den har flera egenskaper som påverkar brandsäkerheten positivt. I följande avsnitt beskrivs automatisk vattensprinkler som skyddsåtgärd, vilken har betydelse för hur sprinklersystemet fungerar som skyddsåtgärd i ett brandskyddssystem.

3 Automatisk vattensprinkler

Automatisk vattensprinkler uppfanns i 1800-talets USA, men det är inte förrän på 1900-talet som den stora utvecklingen har skett. Det första patenterade systemet finns dokumenterat år 1874 av Henry S. Parmelee i Connecticut. Sprinklersystemet var då ett relativt enkelt system med en stigarledning som försörjde respektive sprinklersystem på varje våningsplan. Stigarledningen var dimensionerad för att distribuera släckvatten till utlösta sprinkler på endast ett våningsplan, då det förutsattes att det enbart börjar brinna på ett våningsplan i taget. Detta resonemang används än idag (Bryan 1990).

I USA styrs utformningen av brandskyddet genom standarder, som ges ut av deras motsvarighet till Svenska Brandskyddsföreningen, National Fire Protection Association (NFPA). Den specifika standard som styr utformningen av vattensprinkler är NFPA 13. Under 1970-talet tog myndigheterna i USA krafttag mot den höga dödsstatistiken i bostäder och införde år 1975 en ny standard som styrde vattensprinklerinstallationen i en- och tvåfamiljshus. Standarden var resultatet av flera års forskning som påvisade att dödsstatistiken kunde reduceras betydligt genom användning av brandvarnare och sprinkler. På den tiden fanns redan brandvarnare som var billiga och användbara. Sprinklersystem däremot, drogs med höga installationskostnader och var i huvudsak anpassade som egendomsskydd i industrilokaler. Därför utvecklades en standard med två utgångspunkter (Bryan 1990):

- Sprinklersystemet ska vara betydligt billigare att installera än det traditionella sprinklersystemet
- Sprinklersystemet ska vara kapabelt att fungera i minst tio minuter (detta tidsintervall valdes då det antogs att det räckte för att slutföra utrymningen)

Standarden fick namnet NFPA 13D, där D står för Dwelling (NFPA 13D 1996).

Det var nu möjligt att installera automatisk vattensprinkler, till ett mer rimligt pris, i bostäder. Standarden användes flitigt och snart syntes det i statistiken hur dödsfrekvensen i bostäder minskade. NFPA 13D användes med tiden även i flerfamiljshus, vilket snart ifrågasattes eftersom standardens säkerhetsmarginaler överskreds (Östberg 2002). NFPA började då att utveckla en ny standard som omfattade sprinklerinstallationer i flerfamiljshus, vilket fick namnet NFPA 13R, där R står för Residential (NFPA 13R 1999). Detta system används än idag.

I Sverige har vattensprinkler installerats i många byggnader och Sverige anses tillhöra de länder som har flest installerade sprinklerhuvuden per invånare (Arvidsson 1998). Regleringen av automatisk vattensprinkler har länge följt försäkringsbranschens riktlinjer, RUS. Det har medfört att försäkringsbolagen kräver installation av automatisk vattensprinkler för att företag överhuvudtaget ska kunna försäkras. I andra fall har företag fått kraftigt reducerade premier då vattensprinkler installerats som en del av brandskyddet.

I följande avsnitt behandlas automatisk vattensprinkler och boendesprinkler. Som det redan nämnts är automatisk vattensprinkler ett brandskydd som funnits i brandvärlden under lång tid. Automatisk vattensprinkler är, precis som andra brandskydd, beroende av rätt projektering, rätt utförande och rätt underhåll för att brandskyddet ska upprätthålla de egenskaper som sprinklersystemet har.

3.1 Projektering av sprinkler

Det finns idag inga direkta krav när sprinkler måste installeras. Däremot finns det tillfällen då installation av sprinkler används som ett tekniskt byte för att kunna frångå detaljkrav i byggreglerna.

Sprinkler används som ett komplement i byggnadens brandskydd för att kompensera för den reduceringen av säkerhetsnivån som sker genom avsteg. Därför ställs det höga krav på projektören och det projekterade sprinklersystemet. Projektering av sprinklersystem sker i dag enligt Svenska Brandskyddsföreningens (SBF) regelverk SBF 120 samt den Europastandard som har framarbetats av

Comité Européen de Normalisation (CEN), SS-EN 12845. Dessa två styrande skrifter kompletterar varandra.

3.1.1 Riskklasser

Sprinklersystem projekteras efter vilken verksamhet som byggnaden är ämnad för. Byggnaden och dess utrymmen delas upp i tre olika riskklasser, vilket görs innan projekteringen startar:

- Låg riskklass (LH)
- Normal riskklass (OH)
- Hög riskklass (HH)

De tre riskklassificeringarna bestäms utifrån verksamhetstyp och brandbelastning i de lokaler som ska sprinklas. Riskklass LH innefattar verksamheter med låg brandbelastning såsom kontor och skolor. Riskklass OH innefattar verksamheter med normal brandbelastning och normal brännbarhet. OH delas in i fyra undergrupper, OH1, OH2, OH3 och OH4. Riskklass HH innefattar verksamheter med hög brandbelastning och delas in i:

- Hög produktionsrisk (HHP) med en skala från 1-4, (HHP1, HHP2, HHP3 och HHP4)
- Hög lagringsrisk (HHS) med en skala från 1-4, (HHS1, HHS2, HHS3 och HHS4)

Exempel på verksamheter som har klassificerats i riskklasserna LH, OH och HHP återfinns i *bilaga A*.

Lagring av brännbart material får ske i en verksamhet med klass OH1, OH2 och OH3 under förutsättningar att krav om lagringshöjder och lagringstyp inte överskrids. Om lagring sker som överskrider kraven i SBF 120:6 ska verksamheten klassas som riskklass HHS.

3.1.2 Vattentäthet och verkningsyta

Utifrån de olika riskklasserna används tabeller och beräkningar, se SBF 120:6, för att ta fram erforderlig vattentäthet. Vattentätheten anges i millimeter vatten som ska falla på en yta (en kvadratmeter) under en minut. Vid projekteringen beaktas det hydrauliskt sämsta läget, dvs. där det uppstår lägst tryck. I SS-EN 12845:2004 finns minsta tryck som anses acceptabelt för respektive riskklass. Även det hydrauliskt bästa läget beaktas då det är där som det största flödet uppstår. Det bästa läget beaktas i de fall då en begränsad vattenvolym (bassäng, cistern) används. Flödet får inte minska under den tid som standarden kräver. Kravet på varaktighet varierar mellan de olika riskklasserna.

Verkningsytan är den största yta inom vilket det kan förväntas, ur sprinklersynpunkt, att samtliga sprinkler utlöses (SS-EN-12845:2004). Vid hydraulisk beräkning används detta antagande samt kravet på vattentätheten för att dimensionera tryck och flöde som erfordras vid sprinklercentralen.

3.2 Utformningen av vattensprinkler

Ett sprinklersystem fungerar i princip på samma sätt som för hundra år sedan, dock har utveckling skett av komponenter som är anpassade till nya miljöer. Utvecklingen av nya sprinklerhuvuden för olika typer av släckmetoder är ett exempel på det.

Sprinklersystem är ett aktivt skydd, som vid brand begränsar eller släcker branden med hjälp av vatten eller annan vätska. Det finns olika typer av sprinklersystem, och de fungerar på ungefär samma sätt. Sprinklersystemen innefattar vanligtvis:

- En eller flera vattenkällor
- Ett eller flera rörsystem
- Sprinklerhuvuden placerade på rörsystemet

Vattenkällan, eller vattenkällorna, kan utgöra det kommunala vattensystemet eller speciellt anpassad reservoar som innehåller dimensionerad mängd vatten. Det finns även sprinkleranläggningar som använder skum som släckmedel.

Till vattenkällan ansluts ett eller flera sprinklersystem, bestående av rörledningar och sprinklerhuvuden. Det finns många typer av sprinklerhuvuden; konventionella, spray, väggsprinkler och dolda (conceald), för att nämna några. Varje typ av sprinklerhuvud är framtaget för att skapa en spridningsbild av vattnet så att branden släcks på effektivaste sätt (SBF 120:6).

Det vanligaste sprinklersystemet är våtrörsystem, som har konstant vatten under tryck i rörsystemet. Denna sprinklertyp ger snabbt vatten och släckningen kan påbörjas momentant när sprinklerhuvudet aktiveras. Våtrörsystem kan av förklarliga skäl inte användas då det föreligger frysrisk. I de fall där det finns möjlighet att sprinklersystemet fryser installeras torrörsystem som är fyllda med trycksatt luft. Om ett sprinklerhuvud öppnar sig sjunker trycket i sprinklerledningen och en ventil öppnas varefter vatten distribueras.

En sprinkleranläggning aktiveras normalt genom att ett sprinklerhuvud öppnar sig, till följd av värmepåverkan från branden. I sprinklerhuvudet sitter en vätskefylld glasbulb som vid en viss förutbestämd temperatur spricker och låter vatten från sprinklersystemet att flöda ut. Det finns även sprinklerhuvuden som har temperaturkänsligt metallbläck som aktiverar vid värme.

3.2.1 Larmöverföring

Sprinklersystem som utformas enligt SBF 120:6 ska ha flera olika larm som kan delas upp i två grupper, A och B-larm. Dessa larm ska anslutas till en sprinklertablå där de delas upp och vidareförs till olika mottagare. Komponenter i sprinkleranläggningen som vid fel kan medföra att systemet inte fungerar som det är tänkt, ska övervakas med ett så kallat B-larm. Exempel på larmtyper är strömbortfall till el-pump, avstängd automatik i Dieselpumpen och stängd ventil. Om någon övervakad del av sprinklersystemet aktiveras på det sätt som den är avsedd för överförs larmet som ett A-larm. A-larm har således samma prioritet som ett brandlarm.

3.3 Boendesprinkler

I dagens Sverige finns boendesprinkler endast i begränsad utsträckning. En av anledningarna till detta är att det inte finns några lagstadgade krav på boendesprinkler. Det har även visat sig att det inte är samhällsekonomiskt lönsamt att ställa krav på boendesprinkler i alla boendeformer. Däremot är det lönsamt att ställa krav i vissa typer av boendeformer, som t.ex. nya och befintliga äldreboenden. En anledning till att det inte anses kostnadseffektivt är den låga brandfrekvensen, samtidigt som boendesprinkler har betydande underhållskostnad (Nystedt 2003).

I USA däremot, har boendesprinkler använts under flera decennier med mycket goda resultat. Vissa amerikanska kommuner kräver sprinkler medan andra har infört lättnader (bl. a. tekniska byten) för att minska installationskostnaderna. En förort till Phoenix har i tjugo års tid haft en av USAs mest omfattande krav på sprinkler, där även boendesprinkler finns som krav för samtliga nybyggda bostäder (Östberg 2002). År 1991 krävde Scottsdale även brandvarnare i samtliga bostäder och snart såg man ett positivt resultat genom införandet av boendesprinkler och brandvarnare.

Beslut om införande av boendesprinkler genomfördes under mitten av 70-talet i USA efter att de amerikanska myndigheterna uppmärksammade den höga dödsstatistiken i början på decenniet. År 1975 publicerades den första standarden (NFPA 13D) av NFPA för installation av boendesprinkler. Denna standard användes främst för en- och tvåfamiljshus och anpassades så att installationskostnaden skulle vara så pass låg att en husägare hade råd med installationen. NFPA 13D användes flitigt och började användas på flerfamiljshus, vilket ledde till att NFPA utvecklade ytterligare en standard för flerfamiljshus, vilken finns under beteckningen NFPA 13R (Östberg 2002).

Boendesprinkler skiljer sig från automatisk vattensprinkler på flera sätt, vilka kan direkt kopplas till de två utgångspunkterna som utvecklades till den amerikanska standarden NFPA 13D. Den första utgångspunkten, enligt Bryan (1990), var att kostnaden för installation av boendesprinkler skulle reduceras. Detta skedde genom att endast boenderum sprinklades.

Sprinklersystemet kan i många fall kopplas till den befintliga kallvattenservisen eftersom ett lägre vattenflöde erfordras då boendesprinkler i första hand installeras som personskydd.

3.3.1 Projektering av boendesprinkler

SBF gav år 2002 ut rekommendationer för projektering av boendesprinkler. Rekommendationerna ska ses som komplement till SBF 120 och bygger till stora delar på de amerikanska regelverken, NFPA 13D och NFPA 13R. En viktig skillnad mellan SBF 120 och rekommendationerna (SBF REK 2002) är att rekommendationerna syftar till att primärt skydda personer som vistas i byggnaden. Egendomsskydd hamnar i andra hand, medan SBF 120 syftar till att primärt skydda egendom.

Boendesprinkler är speciellt anpassade för olika typer av boendemiljöer såsom:

- Bostäder (enbostadshus, småhus, flerbostadshus)
- Särskilda bostäder för äldre som t.ex. grubbostäder
- Alternativt boende
- Vårdanläggningar
- Hotellverksamhet
- Studentrum
- Kriminalvårdsanstalter
- Flyktingförläggningar och liknande verksamheter

Som för automatisk vattensprinkler, enligt SBF 120, krävs hög nivå på behörighet hos projektören och besiktningsmannen vid projektering av boendesprinkler. Även ritningsdokumentation är omfattande. Omfattningen och dess innehåll, som ska vara framtagen före installationen, finns tydligt anvisade i SBFs rekommendationer. Dokument och ritningsunderlag som sammanställs vid projekteringen ska sedan kvalitetskontrolleras innan det lämnas vidare till installatören. När systemet är klart ska en leveransbesiktning utföras av besiktningsmannen.

Boendesprinkler dimensioneras normalt för två till fyra aktiverade sprinklerhuvuden. Detta kan jämföras med traditionell sprinkler som dimensioneras för att kunna distribuera vatten till alla sprinklerhuvuden på en verkningsyta mellan 72-360 m². Det betydligt mindre erforderliga vattenflödet medför att boendesprinklersystem ofta kan installeras till byggnadens kallvattenservis.

Eftersom boendesprinkler i första hand är ämnad för personsäkerhet, kan varaktigheten reduceras till 30 minuter och 10 minuter i småhus. Reduceringen till detta tidsintervall motiveras med att det förväntas att alla har hunnit utrymma byggnaden (Östberg 2002) under denna tid. För automatiskt vattensprinklersystem ställs det krav på en varaktighet från 30-90 minuter beroende på vilken riskklass som används.

3.4 Erfarenheter av användning automatisk vattensprinkler

Automatisk vattensprinkler har använts i många brandskyddssystem under hela 1900-talet, och i många fall haft en avgörande roll vid bränder. Tillförlitligheten för sprinkler kan delas upp i två delar enligt följande (Hansson 2003):

1. *Pålitlighet*
Sprinkler aktiverar när det är tänkt att den ska aktivera.
2. *Effektivitet*
Sprinkler skyddar vid aktivering på tillfredställande sätt.

Det är viktigt att särskilja dessa när statistik analyseras. Statistik över hur sprinklersystem fungerar som brandskydd finns samlade från flertalet länder. I USA har NFPA sammanställt statistik från bl.a. NFPIRS-systemet (National Fire Prevention Incident Reporting System). NFPIRS-systemet bygger på rapportering av incidenter som skickas in av räddningstjänsterna i landet och sammanställs av U.S. Fire Administration (USFA). Rohr och Hall (2005) visar statistik över hur ofta sprinklersystem fallerar uppdelat mellan olika byggnadstyper. *Tabell 2* åskådliggör i vilken utsträckning sprinklersystem fallerar.

Tabell 2. Procentuell fördelning av antal sprinklersystem som fallerar, då branden är tillräckligt stor för att aktivera sprinklersystemet. Källa: Rohr & Hall (2005).

Verksamhet	Antalet sprinklersystem som fallerade att fungera då branden var stor nog att aktivera sprinklersystemet (%)
Samlingslokal	10
Undervisning	7
Vård	5
Boende	3
– En- och tvåvåningshus	6
– Lägenheter	2
– Hotell eller motell	4
Affär eller kontor	9
Produktion, tillverkning	7
Lager	14
– Kallager eller annan lagerlokal	11
Alla fastigheter	7

I *tabell 2* redovisas den höga pålitligheten hos sprinklersystem. Endast i sju procent av de rapporterade händelserna aktiverades inte sprinklersystemet trots att branden var stor nog att kunna aktivera systemet. Det kan vara problematiskt att direkt överföra statistik från andra länder eftersom påverkande faktorer, t.ex. underhåll, kan variera mellan länderna. Johansson (1998) redovisar en tabell över tillförlitligheten för sprinklersystem i olika länder, se *tabell 3*.

Tabell 3. Tillförlitlighetsdata för sprinklersystem såsom det redovisas i Johansson (1998).

Källa	Period	Tillförlitligheten (%)
Industrial Risk Insurers	1975-1992 Helsprinklat	98
Industrial Risk Insurers	1975-1992 Delsprinklat	92
NFPA	1925-1969	96,2
Departments of Energy (DOE)	1952-1980	98,2
Australien och Nya Zeeland	1886-1968	99,8
Australien och Nya Zeeland	1968-1977	99,3
England (Fire and loss statistics)	1965-1969	91,8
England (Fire and loss statistics)	1966-1972	78,2

I *tabell 3* märks det att tillförlitligheten varierar i olika utredningar. Det kan bero av flera olika anledningar, som t.ex. olika mätmetoder, olika typer av sprinklersystem samt konsekvenser av regelverk med olika kravnivåer. Tillförlitligheten hos sprinklersystemet är en faktor med stor påverkan vid verifiering av det nya brandskyddssystemet, och måste därför väljas med eftertanke.

Tillförlitligheten hos sprinklersystemet är beroende av en rad olika faktorer. Genom att tillämpa avsteg på brandskyddssystemet, blir det totala brandskyddet mer beroende av att sprinklersystem fungerar. Det blir därmed intressant att veta varför sprinklersystem inte fungerar.

Tabell 4. Anledning till att sprinklersystemet inte aktiverades, trots att branden var tillräckligt stor att aktivera branden. Källa: Rohr & Hall (2005).

Verksamhet	Systemet avstängt (%)	Felaktigt handhavande (%)	Brist på underhåll (%)	Otillräckligt system för branden (%)	Systemkomponents fel (%)	Totalt (%)
Samlingslokal	17	5	49	17	12	100
Undervisning	41	59	0	0	0	100
Vård	50	50	0	0	0	100
Boende	61	23	8	8	0	100
Affär, kontor	33	25	25	13	4	100
Produktion / tillverkning	71	15	12	3	0	100
Lager	88	6	6	0	0	100
Alla fastigheter	52	16	21	7	3	100

Tabell 4 visar att den vanligaste anledningen till att sprinklersystemet inte fungerade var att systemet var avstängt. Det kan även konstateras att de flesta orsakerna är resultat av mänskligt felhandlande. Statistiken i tabell 4 är baserad på händelser i USA, vilket betyder att andelarna inte nödvändigtvis stämmer överens med svenska förhållanden. Skillnader i krav, attityd och riskmedvetenhet kan medföra skillnader i statistik.

Automatisk vattensprinkler dimensioneras så till vida att sprinklersystemet ska begränsa spridning av branden genom att varje sprinklerhuvud aktiveras separat. I de fall då branden inte begränsas av vattnet från ett sprinklerhuvud så löser snart nästa ut. På så sätt är automatisk vattensprinkler ett flexibelt system som anpassar mängd släckvatten efter brandens storlek. Ofta löser endast ett fåtal sprinklerhuvuden ut i förhållande till antalet sprinklerhuvuden som system är dimensionerat för. Detta illustreras i tabell 5.

Tabell 5. Antalet sprinklerhuvuden som aktiverades då sprinkler fanns installerat i byggnaden. Källa: Rohr & Hall (2005).

Antalet aktiverade sprinklerhuvuden	Våtrörsystem (%)	Torrörsystem (%)
1	65	41
2 eller mindre	81	56
3 eller mindre	88	65
4 eller mindre	91	73
5 eller mindre	93	77
6 eller mindre	94	80
7 eller mindre	95	80
8 eller mindre	95	82
9 eller mindre	96	83
10 eller mindre	97	86

Effektivitet hos sprinklersystem kan mätas på olika sätt, t.ex. genom reducerat antal skadade, reducerad skadestånd (egendomsskador) eller reducerad spridning av branden. *Tabell 6* visar effektiviteten i incidenterna som rapporterades till USFA och sammanställdes i Rohr & Hall (2005).

Tabell 6. Uppskattad reduktion, i civila dödsfall per tusen bränder, genom förekomst av sprinkler som brandskydd. Källa: Rohr & Hall (2005).

**Baserat på mindre än två dödsfall per år under en tioårsperiod. Resultatet behöver inte ha någon betydelse.*

Verksamhet	Utan sprinkler	Med sprinkler	Reduktion (%)
Samlingslokal Restaurang	0,8 0,8	0,0* 0,0*	100 100
Undervisningslokaler	0,0*	0,0*	N/A
Vård	4,9	1,2	75
Äldrevård	7,1	1,7	76
Sjukvård	2,7	0,7	74
Boendefastigheter	9,4	2,1	78
En- och tvåvåningshus	9,7	4,7	51
Lägenheter			
Hotell och motell	8,2	1,6	81
Studentboende	9,1	0,8*	91
	1,5	0,0*	100
Affärer & kontor	1,0	0,3*	74
Livsmedelsaffär	1,2	0,0*	100
Varuhus	1,2*	0,0*	100
Kontorsbyggnad	0,6*	0,0*	10
Industrilokaler	1,1	0,0*	100
Fabrikslokaler	2,0	0,8	60
Lagerlokaler	1,0	0,0*	100
Totalt	7,6	1,1	86

Resultaten i *tabell 6* är baserade på inrapporterade incidenter och tar endast hänsyn till närvaron av sprinkler. Med detta menas att resultatet ”med sprinkler” även omfattar sprinklersystem som är feldimensionerade, dåligt underhållna, gamla eller avstängda. Det kan även poängteras att byggnader med en verksamhet som normalt har låg brandrisk utan sprinkler, blir känsliga mot en enstaka storbrand.

I Rohr & Halls rapport (2005) sammanfattas det att sprinklersystem är pålitliga och effektiva. Det finns dock tillfällen då sprinkler har en begränsad förmåga att reducera risken för dödsfall, nämligen då (Rohr & Hall 2005):

- Explosioner eller extremt snabba brandförlopp överbelastar sprinklersystemet
- Brand startat nära en person, t.ex. genom sänggrökning
- Bränder startat i osprinklade utrymmen och sedan växt sig stora där

De bör påpekas att de nyss nämnda exemplen inte betyder att sprinkler är ett onödigt brandskydd då dessa situationer uppstår. Det kan däremot diskuteras i vilken utsträckning avsteg ska tillämpas i samband med sprinklerinstallationen.

I Sverige sker de flesta dödsbränder i hemmen. *Tabell 7* visar antalet omkomna i bränder för vissa typer av objekt.

Tabell 7. Antalet omkomna i bränder för vissa typer av byggnader. Källa: Räddningsverket (2002); Räddningsverket (2003); Räddningsverket (2004) & Räddningsverket (2005).
* I 2001 och 2002 års statistik är villa, radhus eller motsvarande hopslagna.

Objekt	Antal döda i bränder för vissa typer av objekt			
	2001	2002	2003	2004
Flerbostadshus	33	56	31	22
Villa	*	*	52	21
Rad-/par-/kedjehus	*	*	5	5
Fritidshus	6	8	6	2
Äldreboende	14	9	9	1
Summa	120	123	103	51

Dödsbränder sker i särklass mest i bostäder, ungefär 80-90 procent, vilket syns i Räddningsverkets statistik över dödsbränder. Sverige har idag inte något krav på boendesprinkler, men det publiceras allt oftare rapporter om hur boendesprinkler kan användas i svenska byggnader. Intresset för boendesprinkler ökar och framtiden får utvisa om det kommer inrättas lagstadgade krav för sprinkler i olika boendeformer.

Det finns statistik som visar att boendesprinkler minskar risken för att omkomma till följd av bränder. Rohr & Hall (2005) menar att effektiviteten att förhindra dödsbränder ligger på 63-69 procent, medan Nystedt (2003) anger ett värde på 53 procent.

Sprinkler har en hög effektivitet för att förhindra dödsbränder. Om avsteg tillämpas i samband med sprinklerinstallationen kan även byggkostnader reduceras. Automatisk vattensprinkler har en dokumenterad god effekt, men det redovisas inte om avsteg har tillämpats i byggnader som statistiken bygger på. Effektiviteten att förhindra dödsbränder minskas genom avsteg. Därför är det intressant att avgöra i det specifika objektet hur avstegen påverkar säkerheten.

4 Hantering av osäkerheter

Vid byten mellan olika skyddsåtgärder påverkas egenskaperna hos brandskyddssystemet. Vilka egenskaper som påverkas och i vilken utsträckning måste utredas för att se om brandskyddet i byggnaden har försämrats. Efter att brandskyddssystemets egenskaper har analyserats sker ett ställningstagande om resultatet från egenskapsanalysen kan anses som acceptabelt, dvs. om egenskaperna inte har försämrats genom det nya brandskyddssystemet. Vid detta beslut är det väsentligt att fråga hur pass säkert resultatet är. Med andra ord, hur pass osäkert är resultatet?

Osäkerheter finns i flera led vid analys av brandskyddets egenskaper. Morgan & Henrion (1990) beskriver några sätt hur osäkerheter kan uppstå. Nämligen:

- Osäkerheter som uppkommer av otillräcklig information
- Osäkerheter som uppkommer till följd av olika tolkningar av data
- Osäkerheter som uppkommer till följd av språkliga tolkningar
- Osäkerheter som uppkommer genom approximationer och förenklingar

Osäkerheter kan delas upp i två olika typer: *kunskapsosäkerheter och stokastiska (slumpmässiga) osäkerheter* (Paté-Cornell 1996). Med kunskapsosäkerheter menas att osäkerheter skulle kunna reduceras om det fanns mer kunskap om ämnet. Stokastiska osäkerheter är osäkerheter som, till skillnad från kunskapsosäkerheter, inte kan reduceras med hjälp av kompletterande information, dvs. förekomsten av naturlig variation och slump (Johansson & Lundin 1999). Det är t.ex. omöjligt att i förhand exakt fastställa vindhastigheten den dagen då en byggnad brinner. Dock kan en fördelning tala om den mest sannolika vindhastigheten.

Osäkerheter uppkommer även vid hantering av brandskyddets egenskaper. Osäkerheter uppstår i flera led, dels vid:

- Val av vilka egenskaper som behöver analyseras
- Val av analysmetoder
- Användning av befintlig statistik i nya förhållanden
- Förenklingar vid beräkningar och bedömningar

Vid analys av brandskyddets egenskaper är det viktigt att det dokumenteras hur osäkerheter hanteras för att utreda om resultatet är acceptabelt. En allt för hög osäkerhet i analysens delar medför att resultatet blir osäkert. En falsk trygghet uppstår i skyddsnivån hos brandskyddet och försiktighetsprincipen bör då tillämpas.

Valet av egenskaper som analyseras för att studera brandskyddets skyddsnivå står projektören fritt att välja. Antalet egenskaper som beskriver brandskyddssystemet är stor och antalet egenskaper måste begränsas. För specifika byggnader är vissa egenskaper mer viktiga än andra, vilka således måste utredas mer detaljerat. Genom att motivera och dokumentera vilka egenskaper som analyseras underlättar det arbetet vid interna och externa kontroller. Osäkerheter som infinner sig i valet av egenskaper som analyseras, reduceras då fler egenskaper inkluderas i analysen, eftersom en mer nyanserad bild av resultatet erhålls. Reduceringen av denna osäkerhet måste dock ställas mot resurser i form av kostnad och tid.

Det finns inga vedertagna analysmetoder för hur brandskyddets egenskaper ska analyseras. Det medför att osäkerheter infinner sig. Metoder finns dock i en rad andra sammanhang och analysmetoder måste därför väljas med omsorg. Erfarenhet och expertbedömningar är ett viktigt verktyg i valet av lämplig analysmetod. Även resultatet som analysmetoden ger måste bedömas som trovärdigt eller ej.

Analytisk dimensionering sker generellt då brandskyddssystemet enligt förenklad dimensionering inte är lämpbar. På så sätt vandrar projektörer på mer eller mindre okänd mark när han/hon introducerar ett

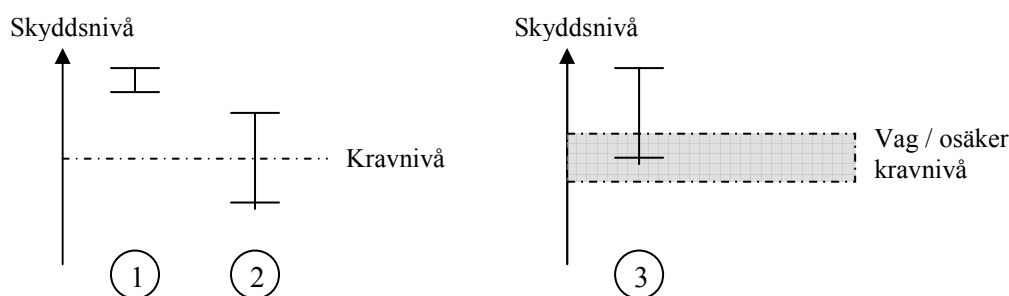
nytt brandskyddssystem. För vanliga tekniska byten och avsteg är befintlig statistik tillämpbar. I mer komplicerade fall bör fullskaleförsök och tester påvisa hur systemet fungerar och på så sätt minska osäkerheter genom att använda missvisande statistik.

I de flesta fall av beräkningar och bedömningar är förenklingar nödvändiga. Genom att motivera och dokumentera dessa förenklingar kan osäkerheter reduceras till en acceptabel nivå vid framtida kontroller.

4.1 Acceptabel nivå på osäkerhetsanalysen

Osäkerhet kan analyseras med varierande detaljeringsnivå. Genom konservativa val och antagande erhålls en hantering av osäkerheterna på grövre nivå där resultatet hamnar på ”den säkra sidan”. Fördelen med att hantera osäkerheter på detta sätt är att metoden är resurssnål och skyddsnivån i det nya brandskyddssystemet med stor sannolikhet är acceptabel. Risken finns att resultatet blir för konservativt och skyddsnivån blir för hög, vilket bl.a. påverkar kostnaden. I de fall där större mängder data finns tillgänglig, är det också möjligt att numeriskt beräkna hur osäkerheter fortplantar sig i analysen av egenskaperna.

Vilken metod som används för att hantera osäkerheter beror till stor del på typen av indata och verktygen som är tillgängliga. Nivån på osäkerhetsanalysen kan exempelvis bestämmas genom följande resonemang där skillnaden i osäkerheter styr.



Figur 7. Situationer där skillnad i osäkerhet styr nivån på osäkerhetsanalys. Källa: Lundin (2001).

Genom figur 7 presenterar Lundin (2001) tre olika situationer där det krävs olika nivåer av osäkerhetsanalys. I situation (1) råder det liten osäkerhet och säkerhetsmarginalen är stor mot kravnivån. Kravnivån är tydligt specificerad och/eller en viss målsättning föreligger, som exempelvis när en detektor ersätts med en som är bättre. Vid denna situation är kravet på osäkerhetsanalys litet. I situationen (2) är osäkerheten större och säkerhetsmarginalen liten eller obefintlig. Det blir då väsentligt att hantera osäkerheterna på en högre nivå för att säkerställa att systemet har en acceptabel skyddsnivå. Lundin (2001) menar att vid denna situation kan en relativ jämförelse mellan olika skyddslösningar vara till hjälp. I den sista situationen, situation (3), är kravnivån vagt uttryckt. Många av de funktionsbaserade kraven i BBR utgör denna situation, där kravnivån är vagt uttryckt. Eftersom det är svårt att avgöra om det nya skyddssystemet uppfyller en säker skyddsnivå kan det vara lämpligt att välja en konservativ lösning (Lundin 2001).

Analys av brandskyddets egenskaper sker med hjälp av olika metoder och tillvägagångssätt. För vissa egenskaper, t.ex. tillförlitligheten och funktionen, finns metoder som tillåter analys av osäkerheter på en hög detaljeringsnivå. För andra finns begränsade möjligheter att numeriskt beräkna osäkerheter hos egenskaperna. Eftersom osäkerheterna inte kan negligeras, måste kvalitativa bedömningar tillämpas för att avgöra om resultatet bygger på för stora osäkerheter.

5 Brandskyddssystemets egenskaper

I följande avsnitt genomförs en detaljerad genomgång av respektive egenskap hos brandskyddssystemet som presenterades i avsnitt 2.2. Egenskaperna som studeras påverkar brandskyddssystemets säkerhetsnivå och måste ses över i verifieringen vid analytisk dimensionering. Varje egenskap presenteras först generellt för system. Sedan beskrivs hur egenskaperna förhåller sig i ett brandskyddssystem.

Terminologin för system kan användas vid beskrivning av brandskyddssystem. I denna rapport används följande synonymer för att underlätta förståelsen.

Tabell 8. Termer för system i allmänhet och för brandskyddssystem.

Generella system	Brandskyddssystem
Systemet (som helhet)	Brandskyddssystem
Delsystem	Skyddskedja
Komponenter	Brandskydd (skyddsåtgärd)

5.1 Funktionen

Funktionen hos ett system, delsystem eller komponent är målet med dess existens. När denna egenskap ska analyseras måste det först fastställas inom vilka ramar som funktionen ska betraktas. Med det menas vilken del av systemet som ska betraktas, en begränsad del eller helheten. Ett system består, som det tidigare nämnts, av flera delsystem som i sin tur är uppbyggt av komponenter. Varje komponent i det stora systemet har en viss funktion, som beskriver vad komponenten är avsedd till att utföra. Alla komponenter utgör tillsammans det stora systemet, som har en annan funktion än varje komponent för sig (Meister 1991). En bil kan fungera som beskrivande exempel. Bilens funktion är oftast att transportera personer i bilen från plats A till B. Bilen kan ses som ett system för transport av personer. För att denna transport ska kunna ske säkert är bilen utrustad med diverse säkerhetssystem, t.ex. bilbälte och airbag. Säkerhetssystemets primära funktion är inte att transportera personerna utan att transportera personerna säkert. Om ramarna runt det beaktade systemet minskas ytterligare kan t.ex. airbagen utgöra ett system med funktionen att aktiveras vid en olycka och fånga upp personerna i bilen så att konsekvenserna blir lägre. Detta exempel är beskrivande och illustrerar hur ramarna runt det system som betraktas påverkar hur funktionen ser ut. Beskrivningen är dock inte menad att återge en exakt beskrivning av hur bilen som system fungerar.

Systemets funktion kan vara uttryckt genom ett specifikt värde eller genom en beskrivande målsättning. För att verifiera om ett system uppfyller funktionen måste systemets uppbyggnad betraktas. Utifrån det bedöms om systemet uppfyller sin funktion. Det är inte självklart att alla delsystem och komponenter måste uppfylla sin funktion för att hela systemet ska uppfylla sin funktion. Anledningen till det är att det i många system finns en viss nivå av redundans. För att återgå till exemplet med bilen, så behöver inte Airbagen uppfylla sin funktion för att bilen ska uppfylla sin.

På samma sätt som exemplet med bilen kan ett brandskyddssystem beaktas, dvs. genom att ändra ramarna i systemet erhålls olika funktioner. Brandskyddssystemet kan ses som ett system med målsättningen är att skapa ett tillfredställande brandskydd i byggnaden. Det är således brandskyddssystemets funktion. I brandskyddssystemet, som innehåller delmål, strategier skyddsåtgärder m.m., kan ramarna runt det betraktade systemet minskas och andra funktioner framträder.

I följande avsnitt beskrivs funktionen utifrån två olika ramar:

- Funktionen hos enskilda skyddsåtgärder
- Funktionen hos brandskyddssystemet som helhet

-
- Funktionen hos system på dessa två nivåer bestäms av olika kriterier och med olika förutsättningar.

5.1.1 Funktionen hos enskilda skyddsåtgärder

Varje del av brandskyddssystemet har en funktion, ett mål med sin existens. Brandlarmet har som funktion att uppmärksamma en brand på ett tidigt stadium. En brandcellsgräns har till uppgift att förhindra brand- och brandgasspridning till intilliggande utrymmen under en bestämd tid. Ofta har skyddsåtgärdena i brandskyddssystemet en klar funktion, som i de nyss nämnda exemplen.

Vissa skyddsåtgärder har flera funktioner, vilket kan försvåra bedömningen hur en eventuell reduktion påverkar brandskyddssystemets funktion. Bärverket i en byggnad har funktionen att bibehålla byggnadskonstruktionen under den tid det tar för personerna att utrymma byggnaden. Samtidigt har bärverket till funktion att även bibehålla sin bärförmåga under en insats från räddningstjänsten, vilket innebär att bärverkets funktion även är att beakta räddningstjänstens säkerhet.

När brandskyddssystemet dimensioneras efter förenklad dimensionering utformas skyddsåtgärdena efter krav och rekommendationer från Boverket. På så sätt erhålls en samling skyddsåtgärder som utgör ett system för att uppfylla egenskapskraven i BVF (nivå 3 i den hierarkiska strukturen). Systemet med skyddsåtgärder förutsätts då uppfylla acceptabel skyddsnivå. Flera av rekommendationerna i BBR bygger på byggtadition, vilket innebär att utformningen genom erfarenhet bedöms som acceptabel. Det kan dock ifrågasättas eftersom det inte alltid är tydligt varför föreskriva skyddsåtgärder ska ha en viss funktion, dvs. vilken skyddseffekt skyddsåtgärden ska ha (Lundin 2001). För att begränsa brandspridning mellan fönster på två olika våningsplan föreskriver BBR ett rekommenderat minsta avstånd på 1.2 meter. Detta accepterade avstånd är säkerligen i många fall tillräckligt, men eftersom risken för brandspridning är beroende av flamhöjden ut ur fönstret, som i sin tur är beroende av brandbelastningen i det underliggande utrymmet, så kan skyddet i enskilda fall var otillräckligt. Vid användning av analytisk dimensionering där den verkliga brandbelastningen används, kan det beräknade avståndet mellan fönster bli en helt annan.

Varje skyddsåtgärd i sig medför en säkerhetshöjande effekt till en eller flera av strategierna i nivå 3. Om varje skyddsåtgärds effekt ska utredas blir det fort ett omfattande arbete som påverkar både tid och kostnad. I verifieringen vid analytisk dimensionering innebär det att det först måste utredas hur systemet ser ut för att uppfylla nivå 3 genom förenklad dimensionering. Sedan bedöms om en lägre eller högre nivå erhålls med det nya systemet.

Funktionen hos enskilda skyddsåtgärder kan i många fall mätas genom att analysera hur skyddsåtgärden uppfyller sin funktion. Ett utrymningslarm har som funktion att varna personer i byggnaden när en brand har uppstått. Det kan testas genom att t.ex. utföra verkliga försök där en decibelmätare mäter så att erforderliga ljudnivåer uppnås i utrymmen som ska förses med utrymningslarm. Om utrymmen som ska förses med utrymningslarm erhåller tillräcklig ljudnivå, har utrymningslarmet som skyddsåtgärd uppfyllt sin del av strategin i nivå 3. Som det nämndes tidigare finns det flera skyddsåtgärder som har en mer otydlig funktion och/eller en otydlig nivå för vad som är acceptabelt. I dessa fall blir det nödvändigt att beakta systemet i ett större perspektiv.

Alla skyddsåtgärders funktion kan inte alltid utvärderas eftersom flera skyddsåtgärder saknar numeriskt mätbara acceptanskriterier. Det beror till stor del att acceptanskriterierna för skyddsåtgärder beskrivs i termer som exempelvis begränsad hållfasthet, försumbart bidrag till brands spridning, inte får nämnvärt bidra till (Lundin 2004). Genom att vidga ramarna, från att endast analysera en skyddsåtgärd, till att se hela nivån 4 och 5 finns det möjlighet att avgöra om dessa två nivåer uppfyller sin funktion, som är nivå 3. Skyddsåtgärdernas (nivå 4) och underkomponenternas (nivå 5) funktion är att uppfylla strategierna i nivå 3. Bristen på tydliga kopplingar mellan skyddsåtgärdena och dess funktioner medför en ökad kunskapsosäkerhet, vilket måste beaktas vid verifiering om komponenterna i nivå 4 och 5 uppfyller strategierna i nivå 3.

Genom att beakta nivå 4 och 5 som ett system för att uppfylla nivå 3, kan det med hjälp av systemegenskaper, som presenterades i avsnitt 2.2, ge antydningar till om nivå 3 uppfylls. Egenskaperna för komponentsystemet (nivå 4 och 5) blir då andra än egenskaperna för varje komponent var för sig. Med denna metod kan ett vidare perspektiv användas för att avgöra om skyddsåtgärderna tillsammans utgör ett säkert system. Analysen blir då kvalitativ och en expertgrupp måste genom erfarenhet/verkliga försök bedöma om funktionen tillgodoses.

5.1.2 Funktionen hos brandskyddssystemet

I föregående avsnitt visades hur funktionen kan mätas hos enskilda skyddsåtgärder. I vissa fall är det omöjligt att mäta funktionen, av den anledningen att det inte är fastställt hur funktionen ska mätas. I dessa fall kan det vara tillämpligt att se skyddsåtgärden som en del av ett större system, där det finns tydligare instruktioner för vad som är funktionen. När hela brandskyddssystemets funktion ska analyseras betraktas systemet i sin helhet mot strategierna i den tredje nivån i den hierarkiska strukturen.

Vid analytisk dimensionering tillämpas ett annat brandskyddssystem, än vid förenklad dimensionering, för att uppnå ett tillfredställande brandskydd. Målet med det nya brandskyddssystemet är det samma som vid förenklad dimensionering, men skillnaden ligger i hur målet uppnås. Med andra ord ställer samhället samma krav på funktionen hos brandskyddet oavsett om dimensioneringen sker enligt förenklad eller analytisk dimensionering. Nivåerna 1 till 3 i den hierarkiska strukturen är densamma oavsett val av dimensioneringsmetodik eftersom dessa bygger på lagstiftningen och eventuella interna föreskrifter. Således uppfyller det nya brandskyddssystemet sin funktion om egenskapskraven i BVF uppfylls.

5.2 Tillförlitlighet

Varje system har en uppgift, ett mål, som benämns funktion. Till denna egenskap kopplas en egenskap som, för det mesta, har en mycket betydande roll, nämligen tillförlitligheten. Tillförlitligheten är en egenskap som ofta analyseras i system, och är ett mått på hur sannolikt det är att systemet uppnår sin funktion (Meister 1991). Det finns även flera definitioner på tillförlitligheten. Hansson (2003) menar i sin rapport att tillförlitligheten är ett sammantaget värde av två faktorer, pålitligheten och effektiviteten. Dessa två faktorer definierades i avsnitt 3.4 med avseende på sprinkler, men kan beskrivas mer generellt som:

Pålitligheten = sannolikheten att ett system aktiveras när det ska

Effektiviteten = sannolikheten för att funktionen uppnås när systemet har aktiverats

Vissa system är aktiva och andra passiva, vilket påverkar pålitligheten och effektiviteten. Ett aktivt system behöver information, en signal, för att det ska aktiveras. Exempel på aktivt system är bilen, airbagen och sprinklersystemet. Funktionen hos aktiva system tenderar till att antingen uppfyllas, eller inte alls. För passiva system krävs ingen signal utan systemet är latent oavsett om det uppfyller sin funktion eller ej. En skyddsmur, ett staket och en brandcellsgräns är exempel på passiva system. Dessa typer av system kan uppfylla en viss grad av sin funktion. En brandcellsgräns som har många otätade genomförningar medger skydd mot brandspridning, dock under kortare tid än vad som är projekterat. Pålitligheten är således mer tydlig för aktiva system då dessa kräver något som aktiverar systemet.

Effektiviteten, hur pass sannolikt det är att systemet uppfyller sin funktion när systemet fungerar, kan däremot urskiljas i både aktiva och passiva system. Effektiviteten tolkas här som hur pass väl funktionen uppfylls då systemet är aktivt.

Tillförlitligheten är en tidsberoende storhet, som betecknas $R(t)$, vilket syftar på engelskans Reliability. Tillförlitligheten är en sannolikhet för att komponenten fungerar under tiden (t), och antar ett värde mellan 0 och 1. Vid analys av system som är tagna i drift kan tillförlitlighetens komplement vara av användning, dvs. otillförlitligheten $Q(t)$, vilken betecknas

$$Q(t) = 1 - R(t)$$

och används till att beräkna sannolikheten för att systemet ska falla om det har varit i drift under tiden (t) (Nystedt 2000).

Tillförlitligheten hos en komponent eller ett system kan analyseras genom tillförlitlighetsanalyser. Analyserna är kvalitativa eller kvantitativa beroende på komponenten eller systemets karaktär. För vissa systemkomponenter finns väldokumenterad erfarenhet och statistik för hur ofta komponenterna fallerar. Statistiken är användbar för att bestämma tillförlitligheten hos system. Statistik utgör generellt ett bra underlag för att bestämma tillförlitligheten, däremot bör det alltid ifrågasättas om den tillgängliga statistiken är representativ för det system som ska projekteras.

Tillförlitligheten i ett system påverkas och är beroende av systemets övriga egenskaper som känslighet, sårbarhet och flexibilitet, vilket redovisas mer ingående under respektive avsnitt. Även människans roll i systemet påverkar tillförlitligheten, eftersom mänskligt felhandlande påverkar sannolikheten för fel.

5.2.1 Tillförlitligheten hos enskilda skyddsåtgärder

Enskilda komponenter i ett system har som regel en viss tillförlitlighet. Tillförlitligheten hos dessa enskilda komponenter, i detta fall skyddsåtgärder, bidrar starkt till tillförlitligheten i systemet som helhet. Därför är det viktigt att välja ”rätt” skyddsåtgärd till varje ändamål.

BBR visar, i viss utsträckning, vilken nivå på tillförlitlighet som enskilda skyddsåtgärder ska uppfylla. I BBR återges hur skyddsåtgärden bör uppfylla sin funktion i ett angivet tidsintervall, vilket medför en viss nivå av tillförlitlighet.

Flera av skyddsåtgärdena i ett brandskyddssystem ligger latent under byggnadens brukstid, och används inte förrän det brinner. Tillförlitligheten hos skyddsåtgärden påverkas av en rad olika faktorer. Åldring, slitage och påverkan från omgivningen är några faktorer som avgör vilket skick skyddsåtgärden har den dag det brinner, och påverkar således pålitligheten hos brandskyddet. Egenskaper som känslighet, sårbarhet och flexibilitet blir då avgörande för om skyddsåtgärden uppfyller den pålitlighet som är förutsatt.

Tillförlitligheten kan beräknas med hjälp av tillförlitlighetsanalyser eller genom statistik från liknande skyddsåtgärder. Följande ekvation kan användas vid beräkning av tillförlitlighet hos tekniska skyddsåtgärder:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t z(t) dt \right]$$

Där:
 z är en hastighetskonstant för sönderfallet
 t är tiden vid det övre tidsintervallet

För en mer detaljerad beskrivning, se Nystedt (2000).

5.2.2 Tillförlitligheten hos brandskyddssystemet

Brandskyddssystemets pålitlighet påverkas redan i projekteringskedet då valet av dimensionerade parametrar fastställs för de aktiva skyddsåtgärdena. De dimensionerande parametrarna beskriver hur en brand förväntas utvecklas i den aktuella byggnaden. Den fiktiva brandens tillväxthastighet är en parameter som vid projekteringskedet bestämmer val av skyddsåtgärd (Angerd 1999). Vilka aktiva skyddsåtgärder som sätts in i brandskyddssystemet påverkar hur sannolikt det är att brandskyddssystemet fungerar när det väl börjar brinna.

Ett annat exempel är kombinationen av brandgasventilation och automatisk vattensprinkler. Problematik uppstår då båda skyddsåtgärdena aktiveras på en viss temperatur, samtidigt som effekten av skyddsåtgärdena ger en lägre temperatur. Det finns försök där brandgasventilatorer, med automatisk aktivering, inte öppnas vid användning av sprinkler. I praktiken ses dock inga direkta

mottättningar vad gäller samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation, utan utformningen (bl.a. aktiveringsteknik) väljs från fall till fall (Arvidsson & Ingason 2001). Samtidig användning av skyddsåtgärder kan således påverka pålitligheten hos det totala brandskyddssystemet.

Effektiviteten hos skyddsåtgärderna påverkar även effektiviteten hos brandskyddssystemet som helhet. Effektiviteten påverkas delvis av brandskyddssystemets skick, vilket i sin tur påverkas av service och underhåll. Brandskyddssystemets effektivitet påverkas även av brandskyddssystemets uppbyggnad. Redundans i systemet har en positiv effekt på tillförlitligheten för att brandskyddssystemet ska uppfylla sin funktion. Redundans bidrar även till ökad komplexitet som i sin tur ökar sannolikheten för upptäckta brister och komponentfel (Meister 1991).

Människans inblandning i brandskyddssystemet påverkar sannolikheten för fel och således även tillförlitligheten i systemet. Vid utvärderingar av olyckor visar det sig ofta att mänskligt felhandlande är den utlösande faktorn. Genom att beakta människans roll i systemet redan i projekteringsskedet, kan risken för ogynnsamma *latenta förhållanden* reduceras (Reason 2000). Latenta förhållanden är positiva eller negativa förhållanden som är inbyggda i systemet. De negativa förhållandena kan med sin närvaro bidra till olyckor (Reason 2000).

5.3 Mänskligt agerande

Människans integration i tekniska system blir allt vanligare allt eftersom antalet tekniska system ökar i samhället. Det är viktigt att detta gränssnitt, mellan människa och teknik, utformas med eftertänksamhet eftersom gränssnittet är en vanlig felkälla i system (Sudano & Marietta 1994). Inom t.ex. civilflyget är mänskligt felhandlande den vanligaste orsaken till haveri (Ödegård 1999a).

Människans betydelse i ett tekniskt system varierar. Hon kan t.ex. vara direkt styrande och utgöra en väsentlig del för att systemet ska fungera. Hon kan också ha en mer passiv roll och endast ingripa om systemet inte fungerar som det är tänkt. Efter flera utredningar av större olyckor är det anmärkningsvärt hur ofta som mänskligt felhandlande haft en avgörande roll för olyckans uppkomst, olyckans utveckling samt konsekvensen av olyckan.

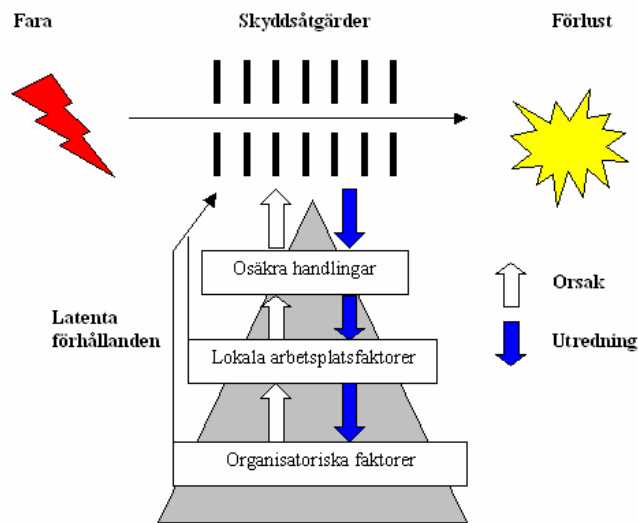
Människan kan både ha en positiv eller negativ inverkan för att systemet ska fungera. Många tekniska system kan fungera utan att människan styr systemet mot dess mål, som t.ex. ett flygplan som ska flyga från plats A till B. Samtidigt finns statistik över att mänskligt felhandlande orsakar cirka 70 procent av olyckorna (Ödegård 1999b). Varför behöver då människan överhuvudtaget vara inblandad i tekniska system? Svaret kan vara att människan har andra egenskaper som överväger. Människan är en otroligt flexibel varelse som har förmågan att kunna anpassa sig och lösa problem utifrån nya förhållanden. Det gör människan till en viktig del i många tekniska system (Grimvall, Jacobsson & Thedéen 1998).

Forskning inom mänskligt felhandlande har under de senaste årtiondena drivits inom en rad olika områden som t.ex. Offshore-, kärnkrafts- och flygindustrin. Genom denna forskning har det upprättats modeller och teorier som beskriver hur dessa typer av fel uppkommer och bör hanteras.

5.3.1 Mänskligt felhandlande

Det finns olika teorier om varför mänskliga felhandlingar uppstår. En teori som är framarbetad av Reason (1990) delar upp felet i *aktiva fel* och *latenta förhållanden*. Aktiva fel är fel som uppkommer av att en operatör omedvetet gör ett fel. Det kan bero på tillfällig sinnesförvirring, som kan uppstå vid t.ex. stressade situationer. Även glömska kan vara en anledning till att fel begås. Dessa typer av fel är svåra att förutse och det är inte effektivt att satsa på att förhindra sådana fel i alltför stor utsträckning. Det kan vara mycket effektivare att utforma system som hanterar dessa typer av fel, ett sorts förlåtande system som parerar för aktiva fel och förhindrar att felet resulterar i olyckor. Medvetna felhandlingar ses som sabotage eller terrorism och utgör således hot mot systemet, vilket behandlas av egenskapen sårbarhet.

Den andra feltypen uppkommer genom latenta förhållanden (Reason 1997). De bygger på förhållanden inom organisationen som möjliggör fel på operatörsnivån. *Figur 8* visar aktiva fel och latenta förhållanden som kan påverka de olika skyddsåtgärderna.



Figur 8. Reasons modell för organisatoriska olyckor. Källa: Reason (2000).

Figur 8 visar hur latenta förhållanden (organisatoriska faktorer och arbetsplatsförhållanden) påverkar skyddssystemet och operatören (fastighetsskötaren) som underhåller skyddssystemet. Genom beslut och attityder i organisationen påverkas kvaliteten på skyddssystemet. Negligering av underhåll och service på en högre nivå i organisationen genererar direkta konsekvenser för skyddssystemet. Beslut i organisationen kan även medföra att operatören måste utföra sina uppgifter under exempelvis stressade förhållanden, vilket ökar risken för felhandlande.

När människor började intressera sig för olyckor ansågs ofta operatören vara den skyldige för de olyckor som inträffade (Reason 2000). Detta synsätt har successivt förändrats efter några stora katastrofer som t.ex. kemikalieutsläppet i Bhopal år 1984, reaktorhaveriet på kärnkraftverket i Tjernobyli år 1986 och Challengerolyckan år 1986. Det har på så sätt blivit mer tydligt att skapa en inneboende säkerhetskultur där hanteringen av säkerhet tillämpas på samtliga nivåer i organisationen. En god säkerhetskultur påverkar systemets kvalitet genom att brister uppmärksammas och åtgärdas på ett tidigt stadium.

Mänskligt felhandlande kan förhindras genom att systemet utformas på ett sådant sätt att aktiva fel inte direkt leder till olyckor, samt att bibehålla en god säkerhetskultur och i vissa fall förbättra nivån på säkerheten.

5.3.2 Hantering av mänskliga felhandlingar

Det finns verktyg och modeller för att utvärdera och analysera aktiva fel och latenta förhållanden. En metod för att bedöma människans tillförlitlighet är genom så kallad Human Reliability Assessment (HRA). Tillvägagångssättet i HRA presenteras i *bilaga B*. Denna metod tar hänsyn till mänskligt felhandlande och går systematiskt igenom momenten som människan är en del av. En viktig del i HRA är Human Error Probability (HEP). HEP beräknas enligt följande formel:

$$HEP_i = \frac{\text{Antalet felhandlingar av typ } i}{\text{Antalet möjligheter att göra fel av typ } i}$$

Människans reliabilitet blir då 1-HEP.

Om människan handlar fel eller inte beror på en rad olika faktorer. Dessa faktorer benämns Performance Shaping Factors (PSF). Exempel på PSF är lokala förhållanden, gränssnittet mellan människa och teknik, stress, motivation samt utbildning. Faktorerna måste naturligtvis vägas in och sannolikheten (P_i) för en viss felhandling (j) blir då:

$$P_i = HEP_i * \sum_{k=1}^{n_j} PSF_{j,k} * W_{j,k}$$

där $W_{j,k}$ är vikter och n_j är antalet PSF som påverkar sannolikheten.

PSF kan exempelvis bestämmas med hjälp av expertgrupper som rangordnar olika lokala förhållanden efter en tiogradig skala där 10 betyder mycket allvarlig situation. Personer påverkas olika av situationen som de befinner sig i. W utgör då en vikt som beskriver hur PSF påverkar människan som analyseras (Kirwan 1996).

Ovanstående resonemang med HEP visar sannolikheten för att t.ex. en operatör ska genomföra en felaktig handling. Denna metod att kvantitativt mäta felfrekvenser har vissa nackdelar vid brandskyddsprojektering. Exempelvis är det svårt att använda metoden på ett system som ännu är i projekteringsstadiet, eftersom osäkerheterna kring flera av faktorerna är höga. Osäkerheter uppstår dels för att en viss kunskapsosäkerhet föreligger angående anledningen till mänskligt felhandlande. Det finns även stokastiska osäkerheter som t.ex. vilka PSF som föreligger den dag då det brinner. HRA-metodiken hanterar inte management- och organisatoriska faktorer (MO-faktorer). Dessa typer analyseras och kompletterar HRA-analysen. Resultatet från HRA-analysen viktas då med hjälp av indikatorer som påverkar sannolikheten för mänskliga felhandlande. Exempel på sådana indikatorer är oplanerat underhåll, förekomst av risktagande eller förekomsten av felaktigt beteende (Akselsson 2003). Negligering av MO-faktorer kan generera till att resultatet skiljer sig markant från verkligheten.

I föregående avsnitt klargjordes att latent förhållanden har en väsentlig betydelse för säkerheten. Latenta förhållanden uppstår efter bl.a. beslut eller attityd på högre nivåer i organisationen och har en direkt eller indirekt påverkan på ett system. Eftersom latent förhållanden förändras under verksamhetens livstid kan det vara svårt att i inledande skede avgöra hur dessa förhållanden kommer att utveckla sig. Ett sätt kan vara att styra dessa förhållanden genom att föreskriva organisatoriska regler som måste följas för att systemet ska fungera. Genom att tillskriva organisatoriska regler för hantering av systemet ökas tillförlitligheten att systemet uppfyller sin funktion. Exempel på organisatoriska regler kan vara att systemet eller delar av systemet tilldelas personer som ansvarar för olika delar, att rapporteringssystem upprättas etc. som ger kunskap om hur systemet fungerar.

Vad medför ökad mänsklig inblandning i ett tekniskt system? I många tekniska system anses mänsklig inblandning öka sannolikheten för fel, och därmed begränsas inblandningen. Paradoxalt nog används människan som en av de viktigaste skyddsåtgärderna i högrisksystem som erfordrar hög tillförlitlighet, t.ex. kärnkraftverk och militära system (Reason 2000). En av anledningarna till det är att människan har andra egenskaper som är svåra att ersätta som exempelvis människans flexibilitet vid problemlösning under nya förhållanden.

5.3.3 Mänskligt agerande i enskilda skyddsåtgärder

Många skyddsåtgärder i byggnadens brandskyddssystem påverkas av mänskligt agerande. Vissa skyddsåtgärder, t.ex. handbrandsläckare, är helt beroende av människan. Andra skyddsåtgärder, t.ex. brandlarm med automatisk och manuell aktivering, är delvis beroende av människan.

För att de olika skyddsåtgärderna ska kunna uppfylla sin funktion i brandskyddssystemet är det viktigt att människorna i byggnaden vet hur de ska agera vid brand. Utbildning av personal är en starkt bidragande faktor som påverkar effektiviteten hos de olika brandskydden. Utbildningen ökar förståelsen för hur användningen av brandskydden ska ske, och bidrar på så sätt till att skyddsåtgärdens effektivitet ökar.

I offentliga byggnader, där personer som förutsätts ha en begränsad lokalkännedom vistas, är det extra viktigt att beakta mänskligt beteende vid brand. Dessa personer kan inte förutsättas ha utbildning i hur enskilda brandskydd ska användas. Skyltar med tydlig information underlättar förståelsen för hur brandskyddet ska användas och ökar sannolikheten för rätt agerande.

Människans beteende vid utrymning av brand påverkas av en rad olika faktorer som t.ex. sociala reaktioner, vakenhet, roller och ansvar (Brandskyddshandboken 2005). Liknande faktorer bör även påverka initiativ till användning av brandsläckningsutrustning. Om personerna i en byggnad använder de olika skyddsåtgärderna eller inte vid en brand är osäkert. Det kan däremot inte uteslutas, vilket talar för att utbildning av personal samt tydliga instruktioner för besökare är avgörande för hur skyddsåtgärderna används. Rätt tillvägagångssätt vid användning av de olika skyddsåtgärderna ökar tillförlitligheten att skyddsåtgärden uppfyller sin funktion.

5.3.4 Mänskligt agerande i brandskyddssystemet

Eftersom människan är en del av brandskyddssystemet, både som skyddsåtgärd och som skyddsobjekt, måste systemet anpassas för mänsklig inblandning. Det kan göras genom att det i projekteringskedet analyseras hur brandskyddssystemet påverkar människan, samt vilka roller som människan har i systemet. Genom att beakta människans roll vid systemutformningen kan olyckor och negativa latenta förhållanden uppmärksammas och reduceras. En ökad inblandning av människan i brandskyddssystemet behöver inte medföra en ökad sannolikhet för fel, tvärtom kan det i många fall reducera sannolikheten. Vi tillämpning av larmlagring, där människan har en aktiv roll, finns även en ekonomisk vinning i att öka människans inblandning. Larmlagring fungerar så att en viss fördröjning av vidarekopplingen av brandlarm till bemannad plats sker, så att personal kan undersöka larmet. Larmlagring är vanligt inom verksamheter där onödiga larm är vanliga.

Även om det är möjligt att beräkna hur tillförlitligheten påverkas genom inverkan av människan i brandskyddssystemet, så är det viktigare att reda ut hur människan inverkar. Ett brandskyddssystem kan innehålla delar som utgörs av mänsklig inverkan och samtidigt ha en tillfredställande tillförlitlighet. Människan bör däremot inte inneha en sådan roll som möjliggör att systemet direkt fallerar om människan handlar felaktigt. Det kan också vara användbart att använda varningssystem som omedelbart meddelar om fel uppstår. Elektriskt övervakat ledningsnät för larmdons- och högtalarkretsar är ett varningssystem som påtalar om ledningsnätet är skadat, vilket annars kan äventyra utrymningslarmets funktion.

Brister i det systematiska brandskyddsarbetet och negligering av den väsentliga revisionsbesiktningen av sprinklersystemet är två exempel där beslut eller attityd på ”hög” nivå kan leda till latenta förhållanden och i sin tur leda till olyckor.

Säkerhetskultur inom verksamheten är en viktig faktor för att brandskyddssystemet ska fungera. Säkerhetskulturen omfattar både det tekniska och det organisatoriska brandskyddet och förväntas uppkomma genom arbete med det systematiska brandskyddet (SBA). Säkerhetskulturen i en verksamhet kan se olika ut. Den kan kort sammanfattas genom fyra komponenter (Akselsson 2003):

- *Lärande* – Viljan att lära sig om risker och säkerhet genom erfarenhet och ny kunskap. Det kan yttra sig genom att ha en beredskap för förbättringar. Dvs. hur förbättring implementeras i verksamheten på bästa sätt.
- *Rapporterande* – Synsättet på fel och felhandlingar är sådant att organisationen ser nyttan i att samla erfarenhet om tidigare incidenter och olyckor för att skapa förbättringar.
- *Flexibilitet* – Respekt för kunskap, oavsett vem i organisationen som besitter den.
- *Rättvisa* – Personer som erkänner fel och misstag straffas inte om denna rapporterar incidenten. Det är dock viktigt att från början ha klargjort vad som är acceptabelt beteende.

Dessa fyra komponenter utgör viktiga delar i organisationen vid säkerhetshantering. För att det systematiska brandskyddsarbetet ska fortlöpa och samtidigt förbättra situationen är det väsentligt att dessa komponenter finns (Akselsson 2003).

Analys av människans roll i byggnadens brandskyddssystem bör kvalitativt, vilket i många fall ger en bättre anpassad analys av en specifik byggnad. Den kvalitativa analysen ger svar på följande frågor:

- Var i brandskyddssystemet har människan en delaktig roll?
- Vad erfordras av människan för att brandskyddssystemet ska fungera som det är projekterat?
- Vad händer om människan, av någon anledning, inte genomför sin del i brandskyddssystemet?

Tidigare har två olika typer av fel presenterats som kan uppkomma då människan är en del av det tekniska systemet. De aktiva felen kan reduceras genom olika åtgärder som t.ex. utbildning av operatören och tydliga instruktioner för hur operatören ska agera vid händelse av brand. Dessa åtgärder bör skrivas in i brandskyddsbeskrivningar, även om det inte alltid görs (Lundin 2001).

Fastighetsägaren och nyttjanderättshavaren har genom lagen (2003:788) om skydd mot olyckor (LSO) skyldighet att i skälighetsomfattning förse fastigheten med utrustning för brandsläckning. Även personalen ska tilldelas utbildning. Det ökar medvetenheten och förståelsen för brandrisker och brandskydd, vilket i sin tur leder till att latenta förhållanden förbättras.

Människan kan naturligtvis utgöra en del av brandskyddssystemet, men det är viktigt att människan har rätt roll i systemet. Ett brandskyddssystem bör utformas så att om människan utför sin roll i systemet ska det finnas en vinning i handlingen, istället för att placera in människan som en länk i brandskyddskedjan. Den ansvarige för brandskyddet i en byggnad ska "tjäna" på att ha utbildad personal, och det bör vara en utgångspunkt för bedömningen av människans roll i brandskyddssystemet.

Att bedöma om människan får en mer eller mindre aktiv del i brandskyddssystemet är förhållandevis enkelt att fastställa genom att översiktligt jämföra brandskyddssystemet med schablonlösningen enligt BBR. Vid nybyggnation är det generellt enklare att bedöma förändringar i graden av mänsklig inblandning än vid ombyggnation. Det är däremot svårt att skatta sannolikheterna för att operatören ska utföra den uppgift som är tilldelad honom. Eftersom brand är en relativt sällsynt företeelse, så är det mycket svårt att fastställa vilka förhållanden som råder då en brand uppstår. Det kanske uppstår brand en gång under en operatörs arbetsliv. Denna stokastiska osäkerhet medför att det inte anses praktiskt genomförbart att tillämpa kvantitativa beräkningar i projekteringskedet.

Personer som har en aktiv del i brandskyddet ska inneha utbildning och utrustning för att tillgodose uppgiften enligt LSO. Hur detta efterlevs är svårt att uppskatta, samtidigt som det är en av de faktorer som påverkar effekten av människans inverkan på systemet allra mest. Det finns många anledningar som kan leda till att personen (operatörer/anläggningsskötaren) har bristande kunskap om hur denna ska handla. Det finns uppgifter på att 60-80 procent av alla olyckor är orsakade av mänskligt felhandlande (Sudano & Mariette 1994).

5.4 Komplexitet

I de flesta system, både tekniska som organisatoriska, finns en viss grad av komplexitet. Begreppet används därför med olika betydelse beroende på vilket område det används i. Meister (1991) förklarar begreppet som:

"Complexity is defined by the number and type of interdependency relationships among units and subsystems within a unit"

Med komplexitet menas således inte enbart antalet komponenter i ett system, utan komplexitet beskriver även beroenden mellan komponenterna. Genom en ökning av antal delsystem eller

komponenter inom ett system ökar komplexiteten, men endast marginellt. Hur beroende delsystem och komponenter är av varandra är mer avgörande för hur pass komplext ett system är. Ju fler och starkare beroenden mellan dem desto komplexare system (Meister 1991). Komplexiteten kan i vissa system bli så omfattande att det är omöjligt att förutse hur utfallet blir med givna indata. Eko-, metrologiskt- och ekonomiska system är exempel på system med hög komplexitet.

Komplexa system är ofta svåröverskådliga och vanligtvis är det i förhand svårt att avgöra hur systemet kommer att reagera med en viss bestämd input. Det är därför önskvärt att reducera komplexiteten eftersom en ökad komplexitet tenderar till ökad sannolikhet för fel. Tendensen till ökad sannolikhet för fel uppkommer genom att komplexiteten är starkt kopplad till egenskapen tillförlitlighet (Meister 1991).

Det finns i huvudsak två inriktningar på komplexiteten beroende på ur vilken synvinkel systemet beaktas. Ett system kan vara komplext utan att någon eller något beaktar det. En slags inneboende komplexitet. Denna typ av komplexitet benämns *strukturell komplexitet* och beskriver system som till struktur har många komponenter och beroenden mellan komponenterna. Den andra typen av komplexitet uppstår då den som betraktar systemet upplever det som komplex. Den som beaktar systemet kan vara en person eller en annan skyddsåtgärd. Denna typ av komplexitet benämns *strategisk komplexitet*.

Båda typerna av komplexitet kan analyseras, vilket kan vara behövligt vid systemutveckling (Meister 1991). Den strukturella komplexiteten medför osäkerheter i hur resultatet blir med en given input. På samma sätt är det svårt att förutse hur ett fel i någon komponent fortplantar sig i systemet, trots att kunskapen om system är hög. Strukturell komplexitet karakteriseras av att den operatör som beaktar systemet kräver stora resurser för att förutse resultatet av en viss input. Strukturell komplexitet minskas generellt genom två handlingsätt:

- Reducering av antalet nivåer i systemet
- Reducering av antalet systemfel

Det första tillvägagångssättet medför att operatören tvingas gå genom färre nivåer för att upptäcka fel som uppstår i komponenterna i den lägsta nivån. Det andra tillvägagångssättet medför att systemet utförs med en högre redundans så att fel uppstår mer sällan, vilket resulterar i att systemet får en lägre strukturell komplexitet (Meister 1991).

Den strategiska komplexiteten kan reduceras genom tre tillvägagångssätt:

- Användning av en effektiv strategi för att uppmärksamma symptom orsakade av fel
- Minska redundansen i systemet
- Minska antalet nivåer (vilket medför att symptom uppenbarar sig snabbare)

Redundans i systemet tenderar till att symptom uppenbarar sig långsammare, vilket medför en ökad osäkerhet. Denna osäkerhet resulterar sedan i en högre strategisk komplexitet (Meister 1991).

Komplexiteten är en multidimensionell egenskap och dynamisk i människa-system interaktioner, eftersom den strategiska komplexiteten varierar mellan individer. Vid användning av ett tekniskt system lär sig människan med tiden och den strategiska komplexiteten minskar.

I komplexa system finns ofta ett brus av fel som uppstår till som tätt i delsystem och komponenter. Felen uppstår vanligtvis på oförutsägbara sätt vilket medför att det är svårt att skydda sig mot dessa. En vanlig åtgärd är att ytterligare säkerhetssystem hängs på för att tidigt upptäcka fel i delar av systemet. Denna metod har fördelar, men problemet med systemets komplexitet har knappast minskat utan snarare ökat (Perrow 1999).

5.4.1 Brandskyddssystemets komplexitet

Skyddsåtgärderna i brandskyddssystemet har till uppgift att uppfylla den ovanliggande nivån i den hierarkiska strukturen som beskrevs i avsnitt 2. Mellan skyddsåtgärderna finns beroenden, vilket leder till att systemet får en strukturell komplexitet. Den strukturella komplexiteten i brandskyddssystemet beror på antalet skyddsåtgärder, men huvudsakligen av beroenden mellan dem.

I den förenklade dimensioneringen används råd, som till stor del bygger på byggtradition (Lundin 2001). Det medför i praktiken att den strukturella komplexiteten i brandskyddssystemet är accepterad, även om beroenden mellan skyddsåtgärderna inte är helt klargjorda. Brandskyddssystemet i en byggnad är i många fall integrerat med andra system som t.ex. larm-, ventilations och vattensystem. Kopplingarna mellan andra system ökar den strukturella komplexiteten. Vid nya kombinationer mellan system kan ett fullskaleförsök visa om samverkan finns som antyder om risk finns för komplikationer.

5.4.2 Brandskyddsstrategins komplexitet

Den strategiska komplexiteten är beroende av den som betraktar systemet. I brandskyddssystem kan en fastighetsskötare utgöra beaktare av systemet. Fastighetsskötarens förståelse för hur brandskyddssystemet fungerar är en viktig faktor för hur brandskyddssystemet fungerar. T.ex. kan brister i förståelsen av till och frånkoppling av brandlarm eller sprinkler medföra en reduktion av brandskyddsnivån. Okunskap leder således till ökad strategisk komplexitet och reducerad brandsäkerhet. Vid val av skyddsåtgärder är förståelsen en viktig faktor som bestämmer graden av strategisk komplexitet i systemet. Brandskyddsprojektören använder, vid förenklad dimensionering, de råd som föreskrivs i BBR, och förståelsen för hur skyddsåtgärderna fungerar är hög. Förståelsen grundar sig i att förenklad dimensionerad är den vanligaste dimensioneringsmetoden och brandskyddssystemet används i många objekt. Däremot finns osäkerheter i kopplingarna mellan skyddsåtgärder och dess funktion, vilket grundar sig i oklarheter mellan lagar, förordningar och rådtypek i föreskrifter (Lundin 2001). Det medför att strategisk komplexitet även finns i den förenklade dimensioneringen.

Vid tekniska byten ersätts skyddsåtgärder med varandra, vilket förändrar brandskyddsstrategin. Förändringen kan medföra ökad komplexitet, vilket måste analyseras eftersom det får konsekvenser för tillförlitligheten i brandskyddssystemet. Lundin (2005) menar att det i dagsläget saknas acceptanskriterier för vad som är tillräcklig säkerhet. Det medför att en viss nivå av strategisk komplexitet måste accepteras. Även om en viss strategisk komplexitet finns kvar, bör vanliga fel som beror av komplexitet förhindras. Ett sådant är *Common Cause Failure* (CCF).

CCF är fel som medför att andra skyddssystem inte kan uppnå sin funktion. I brandskyddssystem kan utebliven elförsörjning eller sprinklerfunktion vara exempel på CCF.

5.5 Flexibilitet

Ett flexibelt system är ofta önskvärt eftersom flexibilitet ökar systemets förmåga att fullgöra sin uppgift under extrema förhållanden. Vilka förhållanden som systemet kan förväntas utsättas för kan i vissa fall vara förutsägbara, men långt ifrån alltid.

Olewnik et al. (2004) definierar ett flexibelt system enligt följande:

”Flexible systems are defined to be systems designed to maintain a high level of performance when operating conditions or requirements change in a predictable or unpredictable way”

Utifrån denna definition kan två olika egenskaper urskiljas hos systemet, som mäter dess flexibilitet. Nämligen, systemets förmåga att fungera under andra omständigheter än vad det är utformat för, då dessa omständigheter är förutsägbara eller inte.

- **Anpassningsbarhet:** Ett flexibelt system skapas genom att göra det anpassningsbart för *förutsägbara faktorer*. Dessa utgörs av dimensionerande faktorer som exempelvis temperatur,

tryck eller personbelastning. Ett system med hög anpassningsbarhet har en förmåga att uppnå sin funktion då dimensionerande faktorer förändras.

- **Robusthet:** Ett flexibelt system skapas genom att minska effekten av *oförutsägbara faktorer* på systemet, utan att eliminera orsakerna till faktorn. Oförutsägbara faktorer kan sammankopplas till stokastiska osäkerheter, dvs. faktorer som inte kan preciseras med hjälp av mer kunskap. Robustheten hos ett system kan även betraktas som ett system med låg sårbarhet, vilket analyseras vidare i avsnittet sårbarhet.

Flexibiliteten är en egenskap som kan relateras till tillförlitlighet och sårbarhet (Meister 1991). En hög flexibilitet medför att systemet med stor sannolikhet kommer att uppnå sin funktion, trots variationer i input. Om systemet utformas för att fungera under påfrestningar och onormala förhållanden anses systemet som robust, vilket minskar sårbarheten.

5.5.1 Flexibilitet hos enskilda skyddsåtgärder

Flexibiliteten hos enskilda skyddsåtgärder karakteriseras av hur skyddsåtgärden fungerar under skiftande förhållanden. I BBR finns exempel på flexibla skyddsåtgärder, t.ex. två av varandra oberoende utrymningsvägar. Denna skyddsåtgärd har en viss grad av flexibilitet eftersom funktionen säker utrymning uppnås på mer än ett sätt. Det finns även tillfällen då en lägre nivå på flexibiliteten anses acceptabel, om skyddsåtgärdens tillförlitlighet medför att funktionen uppnås. Exempel på sådana tillfällen är utrymning från lokal i markplan, med begränsat personantal, direkt ut till det fria eller en utrymningsväg utformad som ett Tr2-trapphus används istället för två vanliga trapphus. I dessa fall medges en lägre grad av flexibilitet om tillförlitligheten ökas. I fall med lokaler i markplan bedöms tillförlitligheten vara så pass god att endast en utrymningsväg accepteras. Detta förutsatt att personantalet är begränsat och lokalen är lättöverblickbar. Ett Tr2-trapphus är utformat så att brand och brandgasspridning till trapphuset är begränsat under 60 minuter. Det medger att trapphuset som utrymningsväg har en högre tillförlitlighet än ett vanligt trapphus. Däremot blir utrymningsstrategin i huset mindre flexibel eftersom två alternativa utrymningsvägar ersätts med en.

Andra exempel på skyddsåtgärder som har hög flexibilitet är räddningstjänsten och automatisk vattensprinkler. Räddningstjänsten (människan) är en mycket anpassningsbar skyddsåtgärd eftersom storleken på insatsen kan anpassas efter omfattningen av branden (Grimvall, Jacobsson & Thedéen 1998). I många fall begränsar sprinklersystemet branden på ett effektivt sätt oavsett om brandbelastningen är högre än vad systemet är dimensionerat för. Anledningen till detta är bl.a. att sprinklersystemet aktiveras då branden ännu har en begränsad utbredning.

När en annan skyddsåtgärd används istället för den av Boverket rekommenderade kan förändringar i flexibiliteten analyseras genom att studera hur det nya systemet påverkas av variationer i förutsägbara och oförutsägbara faktorer. Sker ett byte mellan två liknande skyddsåtgärder som t.ex. två typer av brandgasventilation eller två typer av material i brandcellsgräns är bedömningen relativt enkel. Ersätts en eller flera skyddsåtgärder av en skyddsåtgärd av en helt annan typ så blir analysen mer komplicerad.

5.5.2 Flexibilitet hos brandskyddssystemet

Brandskyddssystemet i byggnaden utformas efter dimensionerande faktorer. Dessa faktorer är mer eller mindre förutsägbara i projekteringskedet. Med förutsägbara faktorer menas, t.ex. personantal, den förväntade brandens storlek och verksamheten i byggnaden. Det bör poängteras att det exakta värdet på dessa faktorer, då det brinner, inte kan förutses i förväg, men kan beskrivas som en fördelning med eventuella kriterier. Exempel på oförutsägbara faktorer är vindhastigheten vid brandtillfället, som påverkar brandgasventilationens effektivitet (Lundin 2001 och Svensson 2000).

Brandskyddssystemet i byggnaden utformas flexibelt genom att systemet uppnår sin funktion även om dimensionerande faktorer ändas. Flexibiliteten kan mätas genom scenarioanalys där det undersöks hur brandskyddssystemet fungerar under andra omständigheter (Meister 1991). Med andra omständigheter

menas omständigheter som uppkommer då de dimensionerande faktorerna har ett annat värde än det som systemet är dimensionerat med. Scenarierna kan exempelvis innehålla variationer i personantal och brandbelastning.

5.6 Känslighet

Känsligheten i ett system definieras genom *hur mycket* systemets funktion påverkas då omgivningen eller andra förhållanden ändras (Meister 1991). Enskilda komponenter och systems känslighet kan beskrivas procentuellt i förhållande till dess maximala funktion. En känslig komponent kännetecknas genom att den ställer krav på omgivningen, för att skyddsåtgärden ska fungera.

Känsligheten i delsystem och komponenter påverkar känsligheten hos systemet som helhet. Systemet kan utformas med redundans mellan delsystem och komponenter, och på så sätt minskar känsligheten.

5.6.1 Känslighet hos enskilda skyddsåtgärder

Känsligheten hos enskilda skyddsåtgärder och vad skyddsåtgärden är känsligt för varierar. Vissa skyddsåtgärder har begränsningar i vilken miljö de får användas i. Denna typ av känslighet beskrivs vanligtvis i den tekniska specifikationen som tillverkaren tillhandahåller. Det kan exempelvis gälla begränsningar i rökdetektorers placering. Känsligheten hos enskilda skyddsåtgärder kan analyseras genom att funktionen mäts vid påverkan av olika faktorer. Omgivande faktorer såsom temperatur, vind, typ av verksamhet eller andra förhållanden såsom strömavbrott eller utebliven vattenförsörjning, är faktorer som påverkar skyddsåtgärdernas känslighet.

Underkomponenter i den hierarkiska strukturen som påverkar skyddsåtgärderna har stor betydelse för systemets känslighet. Antalet vårdpersonal på vårdavdelningar är av stor betydelse för utrymningen (Frantzich 1996). Eventuella personalreduceringar får således stora konsekvenser för brandskyddet i byggnaden. Nedskärningar inom verksamheten är tyvärr ett vanligt inslag i arbetslivet. Troligtvis beaktas inte reducereingen av byggnadens brandskydd till följd av nedskärningen.

5.6.2 Känsligheten i brandskyddssystemet

Känslighet i skyddsåtgärderna måste i vissa fall accepteras då t.ex. bättre teknik inte finns tillgänglig. Självklart måste skyddsåtgärden vara avsedd för ändamålet, men känsligheten i hela systemet bör reduceras genom systemutformning som skapar redundans. Systemets känslighet kan analyseras genom att studera hur brandskyddssystemets funktion påverkas om underkomponenterna i den hierarkiska strukturen ändras eller reduceras.

När brandskyddssystemet utformas på ett annat sätt än det Boverket rekommenderar, finns det risk för att systemet blir känsligt mot andra faktorer. Genom att konstatera vad det nya systemet är känsligt för, och hur systemet uppfyller sin funktion då systemet utsätts för påfrestningar kan känsligheten reduceras.

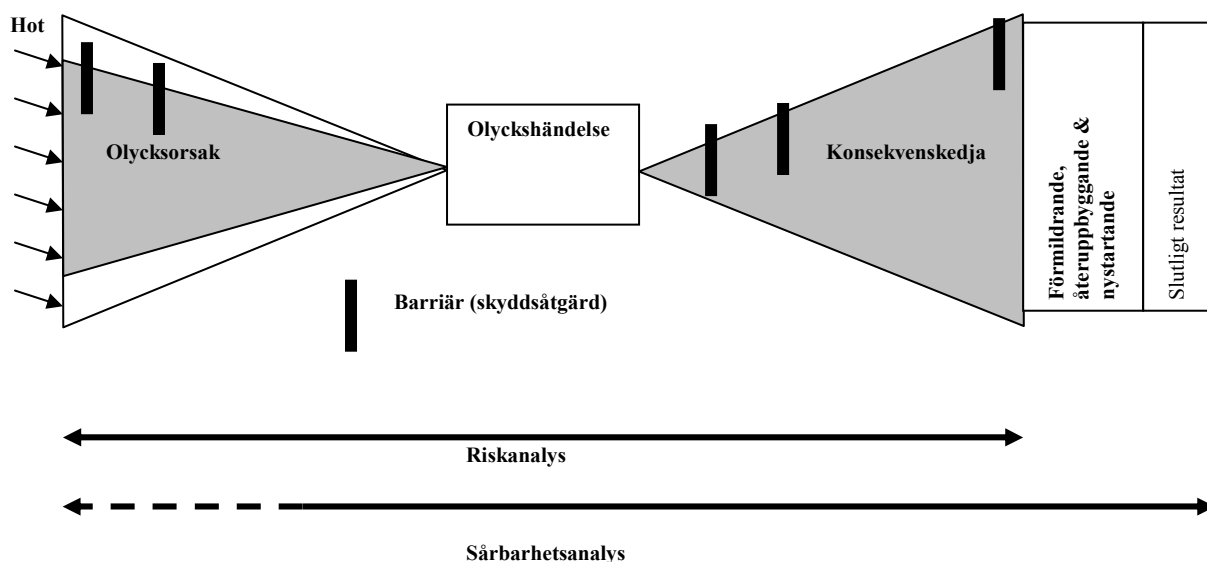
System har faktorer som det är mer eller mindre känsligt för. Vid utformning av brandskydd i byggnader som har en icke konventionell utformning eller verksamhet kan det finnas brandskyddssystem som är mer lämplig än den som används vid förenklad dimensionering. Utrymningsfilosofin i fängvården bygger till stor del på att vårdpersonalen som ska låsa upp låsta dörrar leder patienterna. Brandskyddssystemet är således känsligt för personalens prestationer. Idag finns inget krav på automatisk vattensprinkler i fängvårdsanstalter, även om det medför ett mindre känsligt brandskyddssystem.

5.7 Sårbarhet

Sårbarheten är ett välanvänt begrepp inom många områden, t.ex. inom krishantering, processindustrin och systemutveckling. Definitionen på sårbarhet är inte helt entydig (Abrahamsson & Magnusson 2004, Harrysson & Malmsten 2004). Einarsson & Rausand (1998) använder begreppet sårbarhet för att:

”... beskriva de egenskaper hos ett industriellt system som kan påverka systemets möjligheter att överleva och fullfölja sin uppgift under närvaro av hot”

Begreppen sårbarhetsanalys och riskanalys kan lätt misstolkas eftersom de kan vara synonyma. Det finns dock några viktiga skillnader. Sårbarhetsanalyser, till skillnad från riskanalyser, omfattar faktorer som ligger utanför systemets gränser. En viktig skillnad är att sårbarhetsanalysen beaktar både interna och externa faktorer och är mer ämnad för att analysera systemets överlevnadsförmåga under de hot som föreligger (Abrahamsson & Magnusson, 2004). *Figur 9* visar en schematisk bild över skillnaden i omfattning på riskanalyser och sårbarhetsanalyser.



Figur 9. Skillnaden i omfattning mellan risk- och sårbarhetsanalys. Källa: Einarsson & Rausand (1998).

Riskanalyser är, enligt IEC (1995) en strukturerad process där sannolikheter och konsekvenser bedöms för händelser som drabbar människor, faciliteter etc. Riskhantering definieras vidare genom att systematiskt tillse policy, förfaranden och tillämpning som berör analys, utvärdering och kontroll av riskerna. Sårbarhetsanalyser är slående likt riskhantering som innefattar organisatoriska aspekter, vilket blir allt vanligare inom riskhantering. Enligt Nilson m.fl. (2000) utgör definitionen av riskanalys i *figur 9* en snävare objektorienterad riskanalys.

Målet med riskanalyser är att bedöma vilka skadehändelser som förväntas ske, hur ofta och vilken konsekvens skadehändelserna medför (Göransson m.fl. 2003). I denna rapport ses egenskapen sårbarhet enligt Einarsson och Rausand (1998). En grundläggande del i sårbarhetsanalys är förekomsten av interna och externa hot och hur systemet överlever dessa.

5.7.1 Hot

Ett system kan vara sårbart för hot av olika karaktär. Dessa hot kan vara interna eller externa, dvs. hot som uppstår innanför eller utanför brandskyddssystemets fysiska gränser. Interna hot är starkt kopplade till tillförlitlighet (Lundin 2001) och kan beskrivas som felfunktioner i systemets komponenter (Meister 1991). Vissa externa hot kan framträda som självklara medan andra inte är uppenbara vid en första anblick. Det är inte alltid självklart vilka externa faktorer som måste beaktas vid projekteringen och hur dessa kan kvantifieras.

I projekteringsstadiet kan det vara mycket svårt att avgöra vilka hot som kan förväntas förekomma under byggnadens livstid. Det kan heller inte förutsättas att projektören ska försöka förutse alla dessa hot, men det är trots det väsentligt att beakta de hot som kan förväntas uppkomma.

5.7.2 Sårbarhet i brandskyddssystemet

Sårbarheten i ett brandskyddssystem kan utredas genom att inledningsvis fastsälla sannolika hot som förväntas föreligga under byggnadens livstid. Under normala förhållanden kan exempelvis risken för frost, uppställning av dörrar på kil, möblering och liknande utgöra hot mot brandskyddssystemet. Hoten kan således kopplas till verksamheten i byggnad. I vissa fall kan terror och sabotage utgöra ett hot då verksamheten bedriver kontroversiell verksamhet. Det är därför viktigt att anpassa brandskyddet efter den verksamhet som planeras bedrivas i fastigheten. Andra hot uppkommer genom systemets egenskaper. Komplexitet, känslighet och människan inblandning utgör hot som påverkar systemet och leder till en ökad sårbarhet. Dessa egenskaper i ett system utgör interna hot som medför att systemet blir mer sårbart.

Sårbarheten inom brandskyddssystemet kan utredas genom att studera de interna hot som föreligger till följd av systemets uppbyggnad samt externa hot som uppkommer av verksamheten och förhållanden som systemet opererar i. I *bilaga C* presenteras en metod som Einarsson & Rausand (1998) framarbetat som lämpar sig för tekniska system. Metoden kan användas för att få en antydning till sårbarheter i brandskyddssystemet.

Flera egenskaper påverkar sårbarheten i en byggnad då de skapar robusthet. Sårbarheten är i sin tur en viktig del för hur pass tillförlitligt brandskyddssystemet är. Hög sårbarhet medför att systemet med stor sannolikhet kommer att falla förr eller senare och samtidigt ha svårt att återhämta sig från driftstopp.

6 Analys av brandskyddets egenskaper

I följande avsnitt tillämpas teorierna från avsnitt 5 på ett fiktivt fall. Fallet beskriver hur brandskyddets egenskaper kan analyseras vid byten mellan olika skyddsåtgärder.

Följande fall används i denna rapport:

I projekteringsskedet för en ny matvaruaffär bestäms att inomhusbrandposter ersätts med automatisk vattensprinkler. Inga andra avsteg eller alternativa lösningar tillämpas vid användningen av automatiskt vattensprinkler. Byggnaden har en area på 2400m² och sex meter i takhöjd. I affären används ställage, med en bestämd maxhöjd. Personalen förser ställagen med varor vartefter kunderna plockar sina varor. I lokalen arbetar personal i kassorna och ute i butiken.

Användning av inomhusbrandposter sker av fler anledningar. I det fiktiva fallet är förvaringen av brännbart material och risken för snabb brandspridning orsaker till att fasta släckanordningar ska finnas tillgängliga. Följande krav och råd är hämtade från BBR 5:93.

5:93 **Anordning för manuell brandsläckning**

I byggnader med stora nivåskillnader, i större byggnader och i byggnader där en brand kan förväntas få snabb spridning, få stor intensitet eller medföra stora risker för personskada, skall fasta anordningar finnas som underlättar brandsläckningsinsatser.

I byggnader med fler än åtta våningsplan skall stigarledningar för tillförsel av vatten till brandsläckning anordnas i alla trapphus.

Råd: *Ledningarna bör förse med uttag i minst varannan våning. I byggnader där alternativa utrymningsvägar såsom brandhissar, horisontell utrymning vid vårdanläggningar o.d. finns, bör stigarledningar med uttag i varje våningsplan finnas.*

Såväl intag som uttag bör förse med varselmärkning enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om varselmärkning på arbetsplatser, AFS 1992:15, och med texten "Stigarledning".

Stigarledning bör utformas enligt SS 3112 (1).

Luckor framför intag bör förse med lås som med s.k. brandskåpsnyckel.

I utrymmen där brand kan förväntas få snabb brandspridning, få stor intensitet och medföra stora risker för personskada bör inomhusbrandposter finnas. Risk föreligger normalt inte i utrymmen som skyddas av automatisk vattensprinkleranläggning.

Inomhusbrandposter bör utformas enligt SS 3298 (3).

I rådtexen står det att inomhusbrandposter får avvaras då automatisk vattensprinkler installeras, eftersom det då inte föreligger risk för stora personskador. Bytet mellan skyddsåtgärder faller under förenklad dimensionering, och kräver en lägre nivå av verifiering. I denna rapport används dock bytet eftersom tyngdpunkten ligger i hur analysen av egenskaperna ska gå till, och inte i det tekniska bytet i sig.

6.1 Förändringar i funktionen

Vid tekniska byten sker naturligt en förändring av den hierarkiska strukturen. I avsnitt 5.1 beskrevs tillvägagångssättet för att analysera funktionen hos skyddsåtgärder och brandskyddssystem. Det förtydligades att, vid analys av funktionen, måste det först bestämmas inom vilka ramar som funktionen ska betraktas. I det fiktiva fallet används ramar med två olika omfattningar, dels runt skyddsåtgärden och dels runt brandskyddssystemet. När ramarna väljs runt skyddsåtgärden besvaras frågan om skyddsåtgärden kan uppfylla sin funktion under de lokala förhållandena. När hela systemet beaktas besvaras frågan om brandskyddssystemets funktion uppfylls, dvs. om brandskyddssystemet förser byggnaden med tillfredställande skydd vid brand.

Funktionen hos inomhusbrandposten är att underlätta brandsläckningar vid brand i byggnaden. Funktionen är tydligt formulerad i BBRs rådtex, vilket medför att det är enklare att avgöra om funktionen uppfylls. För att uppnå denna funktion måste skyddsåtgärden dimensioneras efter de lokala förhållandena. Slangen hos inomhusbrandposten måste exempelvis vara tillräckligt lång, så att alla platser i byggnaden kan begjutas med vatten. Vanligtvis används fler inomhusbrandposter, som tillsammans täcker in byggnadens samtliga lokaler, eftersom för lång slang blir otymplig och sårbar. Personal eller besökare måste handgripligen kunna använda brandposten för att den ska uppfylla sin

funktion. När personen ifråga bestämmer sig för att använda brandposter sker det med intentionen att släcka branden. Detta är en viktig aspekt vid jämförelse med sprinklersystemet, som har intentionen att begränsa branden.

Inomhusbrandpostens funktion uppfylls om skyddsåtgärden ger goda möjligheter att begränsa brandspridning genom brandsläckinsatser. Med goda möjligheter menas att om en släckinsats påbörjas i brandförloppets tidiga skede, ska den med hög sannolikhet släcka branden. Senare i brandförloppet bör det vara acceptabelt om skyddsåtgärden ger möjlighet att endast begränsa branden.

Sprinklersystemets funktion är, i det fiktiva fallet, att begränsa brandens tillväxthastighet och storlek. Dock inte att släcka branden, även om aktiverad sprinkler i många fall släcker bränder. Förutsättningarna för att sprinklersystemet ska begränsa en brand är att systemet är rätt dimensionerat efter den aktuella verksamheten. Till det krävs att förutsättningar som erforderlig vattenkälla finns i byggnaden.

I det fiktiva fallet ersätter vattensprinkler endast inomhusbrandposterna, vilket medför att verifieringen blir relativt enkelt. Skulle sprinklersystemet ersätta flera skyddsåtgärder eller om inomhusbrandpostens funktion täcker in flera av strategierna i nivå 3 krävs en mer detaljerad verifiering. Genom att installera vattensprinkler påverkas flera strategier i nivå 3 positivt. Installationen medför bl.a. en längre tid för utrymmande samt bättre möjligheter för räddningstjänsten som gör det slutliga släckningsarbetet. Dessa positiva egenskaper medför att flera avsteg är möjliga. Fler avsteg genomförs dock inte i det fiktiva fallet. Skyddsåtgärdernas funktion kan generellt uppfylla dess funktion om de är dimensionerade efter de lokala förhållandena.

När brandskyddssystemets funktion betraktas, dvs. om tillfredställande brandskydd erhålls, bedöms det om brandskyddssystemet uppfyller de ovanliggande nivåerna. Interna och externa krav som föreligger utreds. I det fiktiva fallet ställs inga interna krav, utan delmålen utgörs av krav från bygglagstiftningen. Vid nybyggnation måste egenskapskraven i 4 § BVF beaktas, vilka utgör strategier. *Tabell 9* visar förändringar i respektive egenskapskrav. Genom att studera förändringen kan eventuell negativ påverkan uppmärksammas, vilket inte är acceptabelt.

Tabell 9. Förändringar i respektive egenskapskrav.

Egenskapskrav i 4 § BVF	Påverkan vid det tekniska bytet
1	Byggnadens bärförmåga vid brand påverkas positivt genom det tekniska bytet. Aktiverad sprinkler begränsar brandens utveckling och värmeeffekten blir lägre, vilket medför att bärande konstruktioner utsätts för en lägre värmepåverkan (Brandskyddshandboken 2005).
2	Skyddet mot utvecklingen och spridningen av brand och rök inom byggnaden blir högre då sprinklersystemet bl.a. begränsar brandens tillväxt.
3	Spridningen av brand till annan byggnad förväntas ta längre tid eftersom sprinklersystemet kontrollerar branden i brandcellen där branden startat.
4	Personer i den fiktiva byggnaden får längre tid på sig att utrymma då sprinklersystemet begränsar brandens tillväxt. En långsammare tillväxt genererar även att tiden till det uppstår kritiska förhållanden blir längre.
5	Räddningstjänstens säkerhet förbättras när sprinklersystem finns installerat i byggnaden. Räddningstjänsten kan då genomföra en släck-/räddningsinsats under en längre tid då bärverket utsätts för en lägre värmepåverkan, vilket ger längre tid till deformation och ras.

I *tabell 9* visas att samtliga egenskapskrav i BVF påverkas positivt. Det finns dock diskussioner (Brandskyddshandboken 2005) att sprinklervattnet kyler brandgaser, vilket försämrar förhållanden för utrymmande. Den termiska stigkraften går förlorad, vilket försämrar förhållandena. Det sker dock främst i brandens närhet. Det förväntas dock inte vara avgörande i det fiktiva fallet då lokalen har en stor volym och den kylande effekten påverkar området nära branden.

Funktionen hos det automatiska sprinklersystemet och brandskyddssystemet bedöms uppfyllas om:

- Sprinklersystemet är utformat efter de lokala förhållandena
- Brandskyddssystemet uppfyller strategierna i nivå 3, vilket i sin tur uppfyller delmålen och det övergripande målet (funktionen)

Analysen av förändringar i funktionen som egenskap är vid detta tekniska byte enkelt. Detta för att skyddsåtgärderna som är involverade i det tekniska bytet är snarlika. Snarlika då de har liknande funktion. Vid tekniska byten där skyddsåtgärder med stora skillnader förekommer måste en mer detaljerad analys genomföras för att studera vilka strategier som påverkas.

Analys av funktionen är en inledande del vid verifieringen av det tekniska bytet. I denna del besvaras frågan om den nya skyddsåtgärden kan användas i byggnaden samt om det övergripande målet uppfylls då alla skyddsåtgärder fungerar som det är tänkt. Scenariot där alla skyddsåtgärder fungerar är endast ett scenario som betraktas. För att sedan avgöra om det tekniska bytet kan genomföras måste egenskaper som är relevanta analyseras. Den mest uppenbara egenskapen efter funktionen som bör analyseras är tillförlitligheten.

6.2 Förändringar i brandskyddssystemets tillförlitlighet

När funktionen hos ett system är definierat analyseras tillförlitligheten. Varje skyddsåtgärd har en tillförlitlighet som beskriver hur sannolikt det är att dess funktion uppfylls under ett visst tidsintervall. Det finns statistik som visar hur tillförlitliga skyddsåtgärderna är. I avsnitt 3 redogjordes statistik för sprinklersystem i olika länder där tillförlitligheten ligger någonstans mellan 78,2-99,8 procent. Hur tillförlitligheten förhåller sig för sprinklersystem i Sverige är oklart men inom detta intervall anses som troligt. Statistik är värdefullt vid analys av tillförlitligheten, dock måste alltid validiteten beaktas. Samtidigt som statistik kan ligga till grund för tillförlitlighetsanalys, måste de lokala förhållandena vägas in. En metod för detta är att dela in tillförlitligheten i pålitlighet och effektivitet. Tillförlitligheten hos inomhusbrandposten och sprinklersystemet, som ersätter varandra i det fiktiva fallet, beskrivs i denna analys genom pålitligheten och effektiviteten.

Om en skyddsåtgärd byts ut mot en annan av samma typ, t.ex. byte till en bättre detektor med högre tillförlitlighet, resulterar det med stor sannolikhet i en ökad tillförlitlighet i hela brandskyddssystemet. Verifieringen av att säkerhetsnivån inte har minskat kan då läggas på en låg nivå. Vid byte mellan skyddsåtgärder av olika slag är det särskilt viktigt att tillförlitligheten beaktas och en högre nivå av verifiering behövs. För det fiktiva fallet kan skyddsåtgärderna beskrivas enligt följande:

Tabell 10. Skillnader i pålitlighet och effektivitet hos inomhusbrandpost och sprinkler.

	Inomhusbrandpost	Automatisk vattensprinkler
Pålitlighet	Pålitligheten hos inomhusbrandposten är beroende av flera faktorer: Benägenheten hos personal och besökare att använda brandposten samt hur sannolikt det är att brandposten distribuerar vatten när en person aktiverar den. Även service och underhåll är betydande för pålitligheten.	Pålitligheten hos vattensprinklersystemet är först och främst beroende av att systemet är rätt dimensionerat efter verksamheten eftersom systemet aktiveras automatiskt. Vanligtvis aktiveras sprinkler vid en viss temperatur och på så sätt är aktiveringen beroende av verksamheten. Systemet är då känsligt för stora förändringar i verksamheten. Sprinklersystemets automatiska aktivering påverkar pålitligheten eftersom systemet även fungerar under tider då personer inte befinner sig i byggnaden.
Effektivitet	Den/de personer som använder inomhusbrandposten påverkar i hög grad effektiviteten hos skyddsåtgärden. Utbildad personal har stor betydelse för hur effektiv skyddsåtgärden fungerar. Vattenflödet och brandens egenskaper har också betydelse för brandposternas effektivitet. Ett snabbt brandförlopp kan t.ex. medföra att vattenflödet inte är tillräckligt, vilket minskar effektiviteten.	Sprinklersystemets effektivitet är beroende av vattenmängden som distribueras samt om hinder täcker åtkomsten. Effektiviteten påverkas även av brandbelastningen i lokalerna och tillväxthastigheten hos branden.

I tabell 10 åskådliggörs skillnader i pålitligheten och effektiviteten hos de två skyddsåtgärderna. Vid en anblick kan betydande skillnader urskiljas. Inomhusbrandpostens pålitlighet är dels beroende av hur

sannolikt det är att vatten distribueras när brandposten aktiveras. Även benägenheten hos personal och besökare att använda brandposten, påverkar pålitlighet hos brandposten som skyddsåtgärd. Statistiken i *tabell 11* är hämtad från Räddningstjänsten och redovisar användning av utrustning avsedd för annan än Räddningstjänsten. Statistiken visar hur benägna människor är att använda handbrandposter vid händelse av brand.

Tabell 11. Användning av inomhusbrandpost där Räddningstjänsten varit på plats. Källa: Räddningsverket.

Inomhusbrandpost/annan slang								
År	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Totalt
Ej angivet		16					3	44
Uppgift saknas	232	217	156	107	102	57	5	3 652
Användes	220	284	299	276	299	285	275	3 652
Fanns	1 278	1 416	1 567	1 539	1 508	1 654	1 504	12 656
Fanns ej	9 070	8 875	8 469	8 741	8 519	8 785	7 683	78 489
Fungerade	366	378	335	318	307	307	214	3 038
Totalt antal bränder	11 166	11 186	10 826	10 981	10 735	11 050	9 684	101 184

I *tabell 11* kan pålitligheten utläsas genom att studera hur pass ofta inomhusbrandposter användes vid bränder. Pålitligheten ligger enligt statistiken någonstans mellan 17,2-20,0 procent mellan åren 1998-2004. Det kan påpekas att statistiken är hämtad från de tillfällen där Räddningstjänsten varit på plats. Det kan tänkas att det finns fall då branden släckts av personal och inget larm sändes till Räddningstjänsten. I kolumnen Totalt redovisas att pålitligheten är 28,8 procent, vilket är högre än när varje år betraktas för sig. Dessa värden är något grova för att bestämma pålitligheten i det fiktiva fallet, men en uppskattning är att pålitligheten bör ligga någonstans runt 20-30 procent. Det är vidare anmärkningsvärt hur liten del av brandposterna som verkligen fungerade. Enligt statistiken i *tabell 11* är det ungefär lika stor del som användes som den del som fungerade. Slutsatsen blir då att inomhusbrandpostens underhåll är en viktig faktor för pålitligheten.

Jämförelsevis är sprinklersystemet likaså beroende av vattenkällan. Däremot aktiveras sprinklersystemet automatiskt, vilket medför en högre pålitlighet än brandposten som aktiveras manuellt. Pålitligheten hos sprinkler ligger någonstans runt 78-99 procent enligt statistiken i *tabell 3* som är hämtade från internationell statistik. Pålitligheten är således generellt betydligt högre hos sprinklersystemet.

Effektiviteten hos de två olika skyddsåtgärderna påverkas av flera gemensamma faktorer. Båda skyddsåtgärderna är beroende av tillgången på vatten. Vattentryck och vattenflöde dimensioneras vid projekteringen av brandposter och sprinkler utifrån verksamhetens karaktär. Systemen blir på så sätt känsliga mot förändringar i verksamheten. Effektiviteten hos brandposten som skyddsåtgärd är beroende av människans prestationer som i sin tur är beroende av människornas kunskap om hur brandposten används. Utbildning blir då väsentligt. Förhållanden som råder då släckförsöket genomförs påverkar även hur människorna presterar. Sådana förhållanden kan exempelvis vara påverkan av strålningvärme och brandgaser. Kunderna i butiken förutsätts inte veta i förväg hur brandposten ska användas. Det finns dock tydliga instruktioner till varje släckutrustning, som ska hjälpa den personal och de kunder som inte har kunskap om släckutrustningen.

Effektiviteten hos sprinklersystemet påverkas av flera faktorer, såsom platsen var det brinner och tillväxthastigheten hos branden. Flera av de faktorer som påverkar effektiviteten hos sprinklersystemet är faktorer som är dimensionerande vid projekteringsstadiet. Sprinklersystemet är på så sätt anpassat efter den verksamhet som ska bedrivas i byggnaden. Om felaktig förvaring sker eller andra hinder förekommer begränsas effektiviteten hos sprinklersystemet. Sprinklersystemets effektivitet är i sin tur

beroende av om branden uppstår i ytor som kan täckas med sprinkler samt brandens karaktär. I *tabell 6* mäts effektiviteten i reduceringar i antal omkomna (%). Statistiken visar då på sprinklersystemens hög effektivitet.

Det kan konstateras att flera faktorer påverkar sannolikheten för att båda skyddsåtgärderna (inomhusbrandpost och automatisk vattensprinkler) ska uppfylla sin funktion. Tillsynes har inomhusbrandposten en lägre tillförlitlighet men tillförlitligheten är beroende av objektspecifika faktorer som t.ex. utbildningsnivå och hot som föreligger. Det blir därför nödvändigt att studera flera egenskaper som påverkar tillförlitligheten. Det finns statistik som visar på tendenser för tillförlitlighet, men validiteten måste alltid beaktas.

6.3 Förändringar i människans roll i brandskyddssystemet

En av skillnaderna mellan inomhusbrandpost och sprinklersystem som skyddsåtgärd, är människans inblandning. Mänskligt agerande har stor påverkan på brandskyddssystemets tillförlitlighet.

I avsnitt 5.2 presenterades tre frågor som ger svar på människans roll i system.

- Var i brandskyddssystemet har människan en delaktig roll?
- Vad erfordras av människan för att brandskyddssystemet ska fungera som det är projekterat?
- Vad händer om människan, av någon anledning, inte genomför sin del i brandskyddssystemet?

Utifrån dessa frågor analyseras människans inblandning i det fiktiva fallet. Inomhusbrandposten är direkt beroende av människan för att uppfylla sin funktion. Det ställer krav på organisationen att tillhandahålla utbildningar, övningar etc. för att personalen i byggnaden ska använda brandposterna effektivt. Även om personalen har tillräcklig utbildning finns dock andra faktorer, t.ex. strålningsvärme och brandgasernas toxicitet, som kan begränsa släckinsatsen. Det kan inte förväntas att personalen till varje pris genomför släckförsök, vilket påverkar brandpostens tillförlitlighet. I andra typer av verksamheter är Boverkets regler utformade så att personalen har en avgörande roll för brandskyddssystemet. I fängelser har personalen en avgörande roll för att internernas utrymning. Det ställer orimligt höga krav på personalen och kan leda till konsekvenser för liv och hälsa.

Människans inblandning är betydligt mindre vid vattensprinklersystem. Vid en brand aktiveras sprinkler automatiskt. Sprinkler begränsar, och i vissa fall, släcker branden utan att människan aktivt deltar i släckningsinsatsen. Vid byte från inomhusbrandpost till automatisk vattensprinkler får människan en mindre aktiv och avgörande roll i brandskyddssystemet. Givetvis utgör människan en viktig roll för andra delar av brandskyddssystemet, men genom bytet har människan fått en bättre position eftersom hon inte har en avgörande del i systemet. Det tekniska bytet förbättrar människans roll i brandskyddssystemet genom att personer i byggnaden endast behöver utrymma. Om inget släckförsök sker fortsätter branden att sprida sig i byggnaden tills Räddningstjänsten inleder sin släckinsats. Är insatstiden lång har branden med stor sannolikhet spridit sig över en stor yta, vilket drastiskt minskar chanserna för Räddningstjänsten att släcka branden.

6.4 Förändringar i brandskyddssystemets komplexitet

Komplexiteten i system kan delas upp i två delar, strukturell och strategisk komplexitet. Den strukturella komplexiteten ökar generellt när fler komponenter installeras eller när kopplingarna mellan dem blir starkare. Vid det tekniska bytet i det fiktiva fallet påverkas den strukturella komplexiteten. Påverkan sker främst genom att sprinklersystemet påverkar andra skyddsåtgärders funktion. Vid användning av automatisk sprinkler sker kylning av brandgaserna, vilket medför att naturlig brandgasventilation försämras. Nedkylning av brandgaser reducerar den termiska stigkraften som används vid naturlig brandgasventilation. Istället bör mekanisk brandgasventilation användas (Arvidson & Ingason 2001).

Vattensprinkler har flera positiva effekter på egenskapskraven i BVF. Vid en brand medför sprinkler att temperaturen och tillväxthastigheten i lokalen sänks. Den lägre temperaturen för med sig att

bärande konstruktioner och brandcellsgränser inte utsätts för de påfrestningar som de är dimensionerade för. Den strategiska komplexiteten ökar på grund av den redundans som byggs in i systemet.

Komplexiteten ökar när bytet mellan skyddsåtgärderna sker i det fiktiva fallet. I praktiken sker vanligtvis fler tekniska byten när automatisk vattensprinkler installeras, av den anledningen att släcksystemet har flera positiva effekter på strategierna i nivå 3. Det som då blir intressant är att avgöra om systembundna feltyper uppkommit. Common Cause Failure (CCF) är en feltyp som kan uppkomma då flera skyddsåtgärder byts ut mot en enda. I det fiktiva fallet tillkommer inga uppenbara fel av denna feltyp. Dock föreligger fortfarande vattentillförseln som en möjlig CCF.

En ökning av komplexiteten är negativt för brandsäkerheten i byggnaden, eftersom det ökar risken för fel. Dock har redundansen ökat vilket medför att sårbarheten måste analyseras för att ge en slutlig bedömning om en ökning av komplexiteten kan anses som acceptabel.

6.5 Förändringar i brandskyddssystemets flexibilitet

Manuell brandsläckning med inomhusbrandpost är en flexibel skyddsåtgärd som kan användas vid en släckinsats. Flexibiliteten uppkommer då människan är en del av skyddet. Det finns i huvudsak två metoder för att skapa ett flexibelt system. Den första metoden är att utforma systemet med hög anpassningsbarhet. Anpassningsbarheten hos inomhusbrandposten kan visas genom att t.ex. en släckinsats kan utföras då branden är liten, till skillnad från sprinkler som aktiveras vid en viss temperatur. Temperaturen är i sin tur beroende av byggnadstekniska egenskaper, t.ex. takhöjden. Den andra metoden för att skapa flexibilitet är genom robusthet. Robustheten hos systemet beskriver systemets förmåga att fungera under förhållanden som inte är förutsägbara. Sprinklersystemet medför att brandskyddssystemet blir med robust genom dess förmåga att begränsa brandförlopp som inte är förutsägbart vid dimensioneringen. Vid snabba brandförlopp, t.ex. brand i hyllor med chips, har personalen begränsad tid att utföra en släckinsats med brandposten. Det snabba brandförloppet medför att strålningen snabbt omöjliggör en släckinsats.

I det fiktiva fallet förändras flexibiliteten, genom att anpassningsbarheten blir lägre. Däremot blir robustheten högre.

6.6 Förändringar i brandskyddssystemets känslighet

Alla system har svaga punkter och förhållanden som det är känsligt för. Vid tekniska byten där brandskyddssystemet utformning ändras, ändras följaktligen även vad systemet är känsligt för. Det är således intressant att utreda vad det nya systemet är känsligt för och hur funktionen påverkas då förhållandena ändras. När det är klarlagt vad brandskyddssystemet är känsligt för kan det avgöras om förändringen i känslighet är acceptabel.

Inomhusbrandposten är beroende av personalens agerande för att skyddsåtgärden ska uppfylla sin funktion. Därför är brandskyddssystemet känsligt för förändringar i personalens antal och kompetens. Utbildning och övningar för personal är viktiga i detta sammanhang. I matvaruaffären finns det även risk för att inomhusbrandpost blockeras av leveranser, pallar med varor och kundvagnar. Eftersom skyddsåtgärden är beroende av människan så ger skyddsåtgärden ingen säkerhetshöjande effekt under tider då personer inte finns i byggnaden, exempelvis nattetid. Det är svårt att tala om ett personskydd i byggnaden då inga personer finns där, men egendomsskyddet blir då lägre under dessa tider på dygnet.

Sprinklersystemet är känsligt för att verksamheten förändras så till vida att brandbelastningen ökar eller att förhållandena ändras så att sprinklersystemet blir underdimensionerat. I regelverken för sprinklerdimensionering finns högsta tillåtna lagringshöjd. Om lagringshöjden överstiger den tillåtna höjden finns det risk för att sprinklerhuvudena inte kan förse ytorna med vatten. Sprinklersystemet är känsligt för mänskliga felhandlingar som t.ex. tillfälliga avstängningar, vilket redovisas i *tabell 3*. Till skillnad från inomhusbrandposten utgör sprinklersystemet ett mindre känsligt system eftersom systemet inte är beroende av om personer befinner sig i byggnaden eller inte. Känsligheten i

brandskyddssystemet blir generellt lägre i det fiktiva fallet eftersom sprinklersystemet påverkar flera strategier positivt och skapar en ökad redundans i systemet.

Tillsynes har inomhusbrandposten och sprinklersystemet olika faktorer som skyddsåtgärderna är känsligt för. Känsligheten i brandskyddssystemet blir lägre eftersom:

- Sprinklersystemet ger även skydd då inga personer befinner sig i byggnaden
- Sprinklersystemet aktiverar automatiskt utan att människan utgör en avgörande roll
- Sprinklersystemet påverkar flera strategier vilket skapar redundans i brandskyddssystemet

Det bör poängteras att känsligheten hos det tekniska brandskyddssystemet är i mångt och mycket beroende av organisatoriska åtgärder såsom underhåll, service och utbildning. Dessa faktorer påverkas av verksamhetens attityd och riskperception, och ändras troligtvis inte oavsett vilken utformning på brandskyddssystemet som väljs. Det finns däremot andra intressenter som ställer krav, t.ex. försäkringsbolag.

Känsligheten i brandskyddssystemet förändras genom att sprinkler används istället för brandposter. Brandskyddssystemet blir känsligt mot andra faktorer, men blir generellt mindre känsligt eftersom redundansen ökar.

6.7 Förändringar i brandskyddssystemets sårbarhet

Brandskyddssystemets sårbarhet påverkas av hur systemet kan hantera interna och externa hot. Hoten är av olika betydelse för systemets olika delar. Genom en enklare scenarioanalys kan sårbarheten bedömas.

Hoten som påverkar ett brandskyddssystem kan vara många och är i stor utsträckning beroende av byggnadens och verksamhetens karaktär. Vid verifiering av hoten måste det först bestämmas i vilken omfattning hoten ska beaktas. En lämplig utgångspunkt är att beakta de hot som kan leda till att brandskyddssystemet inte fungerar. Som exempel nämns följande faktorer:

Tabell 12. Exempel på hot som kan leda till att brandskyddssystemet ej fungerar.

	Interna hot	Externa hot
Inombrandpost	Korrosion, slitage, vattenbortfall	Blockering, påkörning, förändringar i personaltillgång och kompetens, bristande underhåll
Automatisk vattensprinkler	Korrosion, komponentfel, frysrisk, vattenbortfall	Mekanisk åverkan, för hög lagrade varor, ändrad brandbelastning, bristande underhåll, tillfälliga avstängningar

Byggnaden och verksamheten i byggnaden är en dynamisk företeelse, och med stor sannolikhet kommer byggnadens fysiska utformning ändras genom ombyggnationer. Förändringar i byggnadens utformning och verksamhet påverkar de hot som finns. Om ommöblering sker av ställagen i det fiktiva fallet, finns risk att brandpostslangen inte räcker till. Dessa mindre ombyggnationer utgör hot mot brandskyddssystemets funktion. Större förändringar i byggnaden, t.ex. utbyggnad av fasaden, fångas upp av lagstiftningen, och kräver bygglov.

Det är inte motiverbart att projektören ska beakta samtliga hot som kan förväntas uppkomma i framtiden vid en mindre ombyggnation. Förändringar i sårbarheten hos brandskyddssystemet ska istället kunna uppmärksammas kontinuerligt av fastighetsägaren och nyttjanderättshavaren. Det sker genom att mindre förändringar uppmärksammas genom SBA.

Inomhusbrandpostens interna hot utgörs av tekniska fel, som reduceras genom service och underhåll. De externa hoten utgörs främst av påkörning och mekanisk åverkan. Liknande hot påverkar sprinklersystemet eftersom de två skyddsåtgärderna är snarlika. Vid användning av inomhusbrandpost och vattensprinkler installeras mekaniska skydd och organisatoriska åtgärder tillämpas för att skapa barriärer mot hoten.

I det fiktiva fallet förväntas sårbarheten minska då brandposter byts ut mot sprinkler. Det eftersom sprinklersystemet, till stor del, är placerat i taket där begränsad aktivitet sker. Brandposterna, som är placerade vid golvnivå är däremot utsatta för större hot.

6.8 Beslut utifrån egenskapsanalysen

Egenskapsanalysen utgör en grund för beslutsfattande av konsekvensen för brandsäkerheten i byggnaden i samband med tekniska byten. Genom att analysera egenskaperna uppmärksammas eventuella förändringar som har en negativ påverkan på brandskyddssystemet. I det fiktiva fallet blir brandskyddssystemet mindre flexibelt och mer komplext, vilket påverkar säkerheten i byggnaden. I *tabell 13* presenteras en sammanfattning av egenskapsanalysen i det fiktiva fallet.

Tabell 13. Sammanfattning av egenskapsanalysen för det fiktiva fallet.

Egenskap	Påverkan för brandsäkerheten i byggnaden	Kommentar
Funktionen	Obetydlig påverkan	Funktionen i brandskyddssystemet är den samma, men funktionen uppnås med andra medel.
Tillförlitligheten	Positiv	Tillförlitligheten har ökat, främst för att människans roll inte är avgörande för systemet som helhet och för att sårbarheten har minskat.
Mänskligt agerande	Positiv	Människans roll blir bättre för att människan inte har en avgörande roll vid själva släckinsatsen.
Komplexiteten	Negativ	Komplexiteten har ökat genom bytet, för att sprinklersystemet påverkar fler strategier i nivå 3. Dock har bytet medfört en högre grad av redundans, vilket minskar sårbarheten i systemet.
Känsligheten	Obetydlig påverkan	Känsligheten hos systemet påverkas till stor del av faktorer som vid projekteringen är dimensionerande.
Flexibiliteten	Negativ	Flexibiliteten blir lägre då sprinklersystemet är mindre anpassningsbart. Däremot ökar robustheten.
Sårbarheten	Positiv	Sårbarheten minskar eftersom robustheten har ökat.

Denna kvalitativa egenskapsanalys beskriver hur brandsäkerheten i byggnaden har påverkats genom bytet av skyddsåtgärder.

I det fiktiva fallet förändras komplexiteten och flexibiliteten så att de inverkar negativt på brandsäkerheten. Inga andra skyddsåtgärder reduceras vid sprinklerinstallationen, vilket medför att risken för CCF inte ökar. Dock kvarstår vattenförsörjningen som en möjlig CCF. En ökad komplexitet kan således accepteras samtidigt som den förhöjda komplexiteten till stor del beror på en ökad redundans för att uppfylla egenskapskraven i BVF.

Bytet från inomhusbrandposter till sprinkler medför en minskad flexibilitet i brandskyddssystemet. Vid bytet reduceras enbart inomhusbrandposterna, vilka har som funktion att förse lokalen med möjlighet till manuell släckning. Funktionen med sprinklersystemet hos det fiktiva fallet är att ersätta inomhusbrandposternas funktion. Funktionen har ersatts, men flexibiliteten har minskat eftersom släckningen sker automatiskt. Det medför i sig att tillförlitligheten ökar. Till vilka nivåer flexibiliteten kan reduceras framgår inte i BBR. I det fiktiva fallet får det aktuella bytet tillämpas och ses som acceptabelt, utan någon vidare verifiering eftersom det faller under förenklad dimensionering. Per

definition tillåts även en reducering av flexibiliteten. Totalt sätt har säkerheten i byggnaden ökat, genom att flera viktiga egenskaper har förbättrats.

7 Diskussion

Vid tekniska byten måste det nya brandskyddet analyseras för att visa att skyddsnivån inte är lägre än vad bygglagstiftningen kräver. Det görs genom att studera förändringar i systemets egenskaper som har betydelse för skyddsnivån. Forskning har konstaterat att verifieringen ofta är otillräcklig, eftersom endast en eller ett fåtal egenskaper betraktas. Detta anser jag vara ett allvarligt problem eftersom det leder till skenbar säkerhet. För att lösa problemet har denna rapport upprättats där en vägledning är framtagen som hjälp till projektören vid analys av brandskyddets egenskaper.

Efter den inledande litteraturstudien konstaterade jag att det finns en hel del forskning inom området brandteknisk dimensionering, dock inte om hur analys av brandskyddets egenskaper ska gå till. Bristen på vägledning medför att det råder oklarheter om hur förändringar i brandskyddets egenskaper ska hanteras vid tekniska byten. Jag anser att en anledning till denna brist kan bero på att Sverige i ett historiskt perspektiv använt detaljstyrda regelverk. De detaljstyrda regelverken medför att varje skyddsåtgärd gärna betraktas var för sig. De ”nya” funktionsbaserade regelverken kräver att brandskyddet i byggnader betraktas som system, för att upprätthålla säkerhet vid händelse av brand. Konsekvensen av att brandskyddet måste betraktas som ett system, menar jag, medför att förändringar i brandskyddet ska hanteras som förändringar i ett system.

Sedan de funktionsbaserade kraven började användas i Sverige har flera metoder utvecklats för att verifiera skyddsnivån hos brandskyddet vid tekniska byten. Flertalet av dem bygger på riskanalysmetodik som ger en detaljerad beskrivning av brandrisken i byggnaden. Riskanalysmetodik har som de flesta metoder brister, vilka ställer till problem. Begränsningarna infinner sig genom att egenskaper hos brandskyddssystemet, som har betydelse för skyddsnivå, inte kan analyseras med riskanalyser. Således sker verifieringen genom ett för snävt perspektiv, vilket leder till skenbar säkerhet. Jag tycker att riskanalyser är väl användbara i verifieringen av tekniska byten, men måste kompletteras med en egenskapsanalys. Egenskapsanalysen bör utgöra en del av riskanalysen eller som ett förberedande moment inför en riskanalys.

Idag finns det brist på metoder för att analysera brandskyddssystemets egenskaper. För att bemöta denna brist anser jag att det är nödvändigt att studera hur systemegenskaper analyseras inom andra områden. På ett teoretiskt plan bedömer jag det möjligt att tillämpa teorier och resonemang från andra områden där systemegenskaper analyseras, för att sedan använda på brandskyddssystem. Däremot måste försiktighet tillämpas vid direkt överföring av metoder utan full förståelse för metodens begränsningar och användbarhet. Här finns fortfarande en hel del arbete som måste göras för att anpassa metoderna till brandtekniska sammanhang. I denna rapport har sju egenskaper valts ut för studering. Jag tycker att dessa sju egenskaper har en stor inverkan på skyddsnivån hos systemet. Givetvis kan fler egenskaper analyseras för att skapa en mer nyanserad bild av hur skyddsnivån hos brandskyddssystemet förändras genom det tekniska bytet. Vilka egenskaper som måste analyseras är inte självklart, men genom att analysera de egenskaper som studeras i denna rapport anser jag att större fel kan undvikas. Valet är viktigt, och bör genomföras med omsorg, eftersom valet påverkar slutresultatet i verifieringen. Motivering och dokumentation av vilka egenskaper som väljs och varför, anser jag är en förutsättning för framtida interna och externa kontroller.

Metodiken för hur egenskaperna analyseras varierar. För vissa finns väl utvecklade kvantitativa analysmetoder, för andra sker analysen endast genom kvalitativa bedömningar. Resultaten från egenskapsanalyserna blir på så sätt av olika karaktär, vilket leder till svårigheter att jämföra egenskaperna mot varandra. Denna jämförelse är nödvändig för att utreda om positiva effekter i en egenskap kan kompensera negativa från en annan. Jag tycker att det i vissa fall får utföras sådana kompensationer. Exempelvis när komplexiteten ökar till följd av att sårbarheten minskar. Kompensationer måste dock ske inom rimliga gränser, eftersom en ökad komplexitet ökar osäkerhet om hur systemet fungerar, vilket leder till att fel blir svårupptäckta. Fram tills det finns vedertagna metoder och riktlinjer för hur kompensationer får utföras tycker jag att projektören ska vara konservativ i bedömningen, för att vara på den säkra sidan. Det råder även en hög grad av

kunskapsosäkerhet om hur kompensation mellan egenskaper får tillämpas, vilket jag anser talar för att konservativa bedömningar är skäliga.

När brandskyddets egenskaper har analyserats infinner sig nästa problem. Är resultatet acceptabelt? Eftersom det i många fall är svårt att utläsa i BBR vad som är acceptabelt i numeriska termer, så erfordras en bedömning. Detta är oundvikligt, så länge regelverken inte förses med mer detaljerade mål för skyddsåtgärderna som rekommenderas. När tekniska byten tillämpas förändras sättet för hur egenskapskraven i BVF uppfylls. Det finns ingenstans i regelverken som i klartext säger att en sådan förändring får ske. Jag anser dock att det finns utrymme för tolkning, eftersom projektörer har möjlighet att utforma brandskyddssystemet på ett alternativt sätt, och per definition med andra systemegenskaper.

I rapporten använde jag mig av ett fiktivt fall för att visa hur egenskapsanalyser kan tillämpas. Analysen i det fiktiva fallet genomfördes på en låg detaljeringsnivå. Det för att visa att teorier från andra sammanhang kan användas för att tillämpas vid brandteknisk dimensionering. Jag anser att ingen av de analyserade egenskaperna förändrades så pass mycket att ytterligare analys var nödvändig. Vid tekniska byten där brandskyddets egenskaper förändras avsevärt, krävs en djupare analys för att fastställa om det tekniska bytet är möjligt.

Det finns som sagt en hel del kvar att göra inom området för egenskapsanalys vid tekniska byten, och fram tills att det finns vedertagna metoder krävs vidare forskning. En viktig inledande del är att fastställa definitioner på egenskaperna, då det förekommer begreppsförvirring för flera av egenskaperna. Vidare anser jag att metoder måste formuleras, för att tillämpas vid brandteknisk dimensionering. Tolkningssvårigheter över vad kraven och råden i BBR betyder, uttryckt i brandskyddssystemets egenskaper, är kanske ett av de största problemen där det krävs ett omfattande arbete.

Jag tycker att riskanalysmetodik lämpar sig bra vid analys av brandskydd, och användningen av dessa kommer sannolikt inte minska i framtiden. Genom att använda en kompletterande egenskapsanalys erhålls en mer nyanserad bild av hur brandskyddet fungerar, och täcker in en del av de brister som riskanalysmetodiken har. Slutligen anser jag att analys av brandskyddets egenskaper är ett mycket användbart och nödvändigt tillvägagångssätt för att verifiera tekniska byten i framtiden.

8 Slutsatser

I detta kapitel redovisas slutsatserna som dragits under arbetets gång och som anses viktiga för framtida forskning och användning av egenskapsanalys.

Vid tekniska byten krävs en verifiering som påvisar att skyddsnivån hos det nya brandskyddet inte är lägre än skyddsnivån för det brandskydd som erhålls genom förenklad dimensionering. Resultatet av rapporten visar att skyddsnivån hos ett brandskydd är flerdimensionellt, eftersom den är beroende av brandskyddets inneboende egenskaper. Således är det väsentligt att analysera de egenskaper som påverkar skyddsnivån.

Genom litteraturstudier till denna rapport har det framkommit att det finns få vedertagna metoder för att analysera brandskyddets egenskaper. För vissa egenskaper finns detaljerade analysmetoder som kan användas vid brandteknisk dimensionering. För andra sker egenskapsanalys genom enklare bedömningar. Genom litteraturstudierna har det även visat sig att egenskaper hanteras i större utsträckning i andra sammanhang än vid brandteknisk dimensionering. Resultatet av rapporten visar att teorier och resonemang kan överföras för att tillämpas vid brandteknisk dimensionering. Dock bör man vara försiktig vid användandet av analysmetoder eftersom kunskap om metodernas användbarhet och begränsningar är vaga.

I rapporten har det konstaterats att flera av brandskyddssystemets egenskaper påverkar varandra, vilket leder till att en förändring i en egenskap medför konsekvenser i en annan. Således kan en tillsynes mindre förändring i brandskyddssystemets struktur innebära oanade konsekvenser för skyddsnivån hos systemet.

Avsikten med vissa krav och råd i BBR är diffusa, vilket leder till problem vid egenskapsanalys. Per definition är egenskaperna hos ett brandskydd som är projekterat efter Boverkets regelverk lagda på en acceptabel nivå. Dock är det svårt att se kopplingen mellan skyddsåtgärderna och egenskapskraven i BVF. Konsekvensen blir att det är mycket svårt att, i termer av egenskaper, utläsa några acceptanskriterier från BBR. När det saknas tydliga acceptanskriterier, visar denna rapport på att en relativ jämförelse kan tillämpas mellan egenskaper hos det nya brandskyddssystemet och det som erhålls genom förenklad dimensionering. För att underlätta egenskapsanalyser krävs att syften med kraven och råden i BBR tydliggörs.

9 Referenser

Abrahamsson, M., Magnusson, S E., *Risk- och sårbarhetsanalyser – utgångspunkter för fortsatt arbete*, Krisberedskapsmyndigheten, Stockholm 2004.

Abrahamsson, M., Magnusson, S E., *Användning av risk- och sårbarhetsanalyser i samhällets krishantering – delar av en bakgrundstudie*, Rapport 1007, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2004.

Akselsson, R., *Kurskompendie för MTO-R (Människa, Teknik; Organisation och Riskhantering) 5p*, Ht 2003, Lunds Tekniska Högskola

Angerd, M., *Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?*, Rapport 5028, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1999.

Arvidsson, M., *Bostadssprinkler – en sammanställning av erfarenheter från USA*, Räddningsverket, Karlstad 1998.

Arvidson, M., Ingason, H., *Samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation*, Rapport 2001:17, Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås 2001.

Becker, P., *Metod för riskbaserad dimensionering genom beräkning*, Rapport 3109, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2000.

Boverket, BBR, *Boverkets byggregler*, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. 2002:19, Boverket, Karlstad 2002.

Boverket, *Utrymningsdimensionering*, Boverket, Karlstad 2004.

Brandskyddshandboken, Rapport 3117, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2002.

Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2005.

Bryan, J.L., *Automatic Sprinkler and Standpipe Systems*, NFPA, Quincy 1990.

Einarsson, S., Rausand, M., *An Approach to Vulnerability Analysis of Complex Industrial System, Risk Analysis*, Vol 18, Nr 5, Plenum Press, London 1998.

Fallqvist, K., Klippberg, A., Wallin, A., *Brandskydd i Boverkets Byggregler*, Svenska Brandförsvarsförbundet (SBF), Stockholm 2002.

Frantzich, H., *Brandskyddsvärdering av vårdanläggningar – Ett riskanalyserverktyg*, Räddningsverket, Karlstad 2000.

Frantzich, H., *Fire Safety Analysis of a Health Care Facility*, Report 3085, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1996

Frantzich, H., Lundin, J., Magnusson, S.E., *Slutredovisning från projekten Brandteknisk dimensionering baserad på beräkning (SBUF) och Funktionsbaserad brandteknisk dimensionering (Brandforsk)*, Rapport 3093, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1997.

Fällman, L., Hansing S., *Brandskydd i Kulturbyggnader – Handbok om brandsyn och brandskyddsåtgärder i kulturhistoriskt värdefulla byggnader*, Räddningsverket och Riskantikvarieämbetet, Borås 1997.

Grimvall, G., Jacobsson, P., Thedéen, T., *Risker i tekniska system*, Utbildningsradions förlag, Stockholm 1998.

Göransson m.fl., *Handbok för riskanalys*, Räddningsverket, ISBN 91-7253-178-9, 2003

Hall, JR., Rohr, KD., *U.S. Experience with Sprinklers and other Fire Extinguishing Equipment*, NFPA, Quincy 2005.

Hansson, C., *Sprinkler för Personskydd*, Rapport 5119, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2003.

Harrysson, K., Malmsten, J., *Användning av risk- och sårbarhetsanalyser vid kommunal planering inför extraordinära händelser*, Rapport 5155, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2004.

Henrion, M., Morgan, G.M., *Uncertainty, A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Risk Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

International Electrotechnical Commission, IEC, (1995-12): *International standards – Dependability management part 3: application guide – section 9 Risk Analysis of technological system*, Genève 1995

Johansson, H., *Brandfrekvenser och typbränder i industrieanläggningar*, Rapport 3100, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1998.

Johansson, H., Lundin, J., *Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsutformning i byggnader*, Rapport 7008, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1999.

Kaplan, S., *The World of Risk Analysis, Risk Analysis*, Vol 17, No 4, Plenum Press, London 1997.

Kirwan, B., *A guide to Practical Human Reliability Assessment*, Taylor & Francis, London 1994.

Kirwan, B., *The validation of three Human Reliability Quantification techniques – THERP, HEART and JHEDI*, *Applied Ergonomics*, vol 27. No 6, Elsevier, New York 1996.

Lag (2003:778) om skydd mot olyckor

Lundin, J., *Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering*, Rapport 3122, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2001.

Lundin, J., *Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings säkerhet*, Rapport 3129, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2004.

Mariette, M., Sudano, J.J., *Minimizing Human-Machine Interface Failure in High Risk Systems*, Government Electronic System, New Jersey 1994.

Meister, D., *Psychology of System Design*, Elsevier, New York 1991.

NFPA 13D, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One- And Two Family Dwellings and Manufactured Homes*, NFPA, Quincy 1996.

NFPA 13R, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and Including Four Stories in Height*, NFPA, Quincy 1999.

Nilsson, J., *Introduktion till riskanalysmetoder*, Rapport 3124, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2003.

Nilsson, J., Magnusson S-E., Hallin, P-O., Lenntorp, B., *Integrerad regional riskbedömning och riskhantering*, Report 1002, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2000

-
- Nystedt, F., *Risikanalytometoder*, Rapport 7011, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2000.
- Nystedt, F., *Deaths in Residential Fires – An Analysis of Appropriate Fire Safety Measures*, Report 1026, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2003.
- Olewnik, A. et al., *A Framework for Flexible Systems and Its Implementation in Multiattribute Decision Making*, Vol 126, ASME, New York 2004.
- Paté-Cornell, M.E. *Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment*, Reliability Engineering and System Safety, Vol 54, 1996
- Perrow C., *Organizing to Reduce the Vulnerabilities of Complexity*, Journal of Contingencies and Crisis Management, Vol 7, No 3, Oxford, 1999
- Reason, J., *Human Error*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate Publishing, Aldershot 1997.
- Reason, J., *Human error: Models and Management*, Vol 320, British Medical Journal, London 2000.
- Renn, O., *The Role of Risk perception for Risk Management*, Vol 59, Elsevier, Ireland 1998.
- Räddningsverket, *Dödsbränder 2001*, Karlstad 2002.
- Räddningsverket, *Dödsbränder 2002*, Karlstad 2003.
- Räddningsverket, *Dödsbränder 2003*, Karlstad 2004.
- Räddningsverket, *Dödsbränder 2004*, Karlstad 2005.
- SBF REK 2002, *Installation av boendesprinkler*, Svenska Brandskyddsföreningen, Stockholm 2002
- SRVFS 2004:3, *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete*
- Svensson, S., *Brandgasventilation*, Räddningsverket, Karlstad 2000.
- Ödegård, S., *Flygets Riskhantering – En förebild för arbetet med patienternas säkerhet i hälso- och sjukvården?*, Institutet för Personssäkerhet & Olycksfallsforskning, Eskilstuna 1999a.
- Ödegård, S., *Säkerhetsarbete i Högrisksystem – Tänkbara tillämpningar för ökad patientsäkerhet*, Institutet för Personssäkerhet & Olycksfallsforskning, Eskilstuna 1999b.
- Östberg, B. et al., *Boendesprinkler räddar liv*, Publikation 0202007. Träteck, Stockholm 2002.

Bilaga A Klassificering av typiska verksamheter

I denna bilaga klassificeras några vanliga verksamheter i riskklasserna låg, normal och hög med eventuella underklassificeringar. Figureerna är hämtade från SBF 120:6.

Tabell 14. Exempel på verksamheter som betraktas som låg riskklass.

Verksamheter med Låg riskklass
Kontor
Fängelse
Skolor och andra utbildningsanläggningar

Tabell 15. Exempel på verksamheter som betraktas som normal riskklass.

Verksamheter med Normal riskklass				
Verksamhet	Normal riskklass grupp			
	OH1	OH2	OH3	OH4
Glas och keramik			Glasbruk	
Kemikalier	Betongindustri	Filmtillverkning Fotolabb	Färgeri Tvålfabrik	Måleriverkstad Tändsticksfabrik Vaxljusfabrik
Mekanisk industri	Plåttillverkning	Bilverkstäder Verkstadsindustri	Elektroniktillverkning Kylskåpstillverkning Radiotillverkning Tvättmaskinstillverkning	
Mat och dryck	Mejeri Slakthus	Bageri Bryggeri Chokladtillverkning Kakfabrik Konfektyrtillverkning	Djurmatsfabrik Majskvarnar Sockertillverkning Torkade grönsaker och soppfabrik	Destilleri
Diverse	Bibliotek (förutom bokhandel) Hotell Kontor Restauranger Sjukhus Skolor	Bilgarage Laboratorier (fysiska) Museer Tvätter	Järnvägsstation Tv-studio Växthus	Biografer och teater Konserthall Tobaksfabrik
Papper			Bokbinderi Kartongtillverkning Pappersbruk Tryckeri	Returpapperanläggning
Gummi och plast			Gummitillverkning Injektionsgjutning (plast) Kabeltillverkning Plasttillverkning och plastlager (förutom skumplaster) Syntesfibertillverkning (förutom akryl) Vulkanisering	Reptiltillverkning
Affärer och kontor	Dataverksamhet (datahallar förutom mediearkiv)		Köpcenter Varuhus	Mässhallar
Textil och kläder		Lädertillverkning	Fiberboardfabrik Klädtillverkning Knyppleri Linnfabrik Madrasstillverkning (förutom skumgummi)	Bomullskvarn Hampaberedningsfabrik Repbredningsfabrik

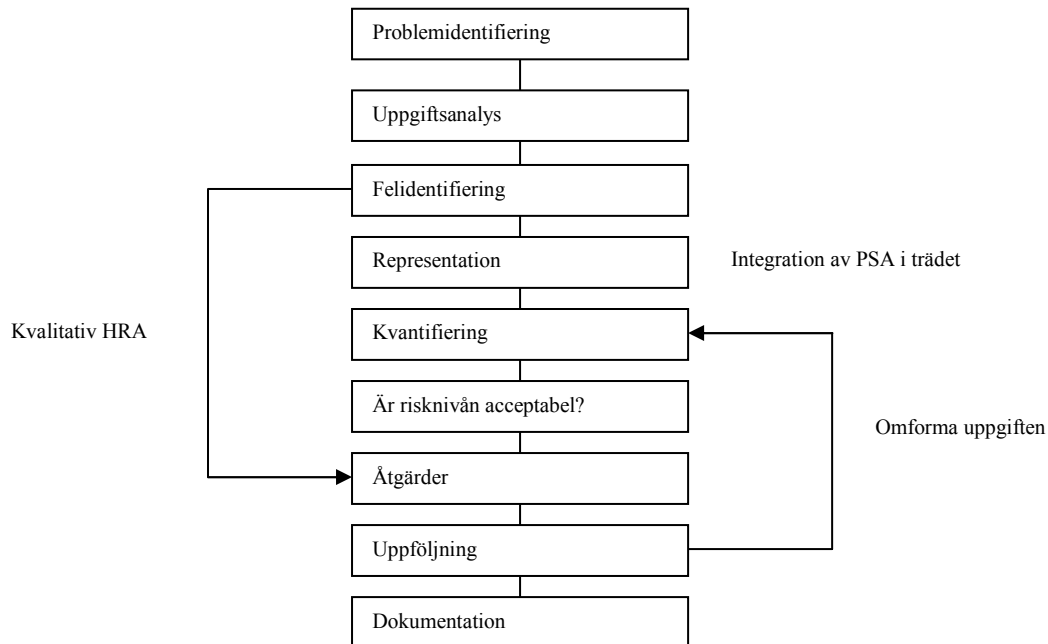
			Mattillverkning (förutom gummi och skumplast) Skotillverkning Syfabrik Ulleri Väveri	
Trä och skogsprodukter			Möbelaffär Möbelfabrik (utom skumplast) Tapetserfabrik (utom skumplast) Träbearbetning	Plywoodtillverkning Spånskivefabrik Sågverk

Tabell 16. Exempel på verksamheter som betraktas med hög produktionsrisk.

Verksamheter med Hög produktionsrisk			
HHP1	HHP2	HHP3	HHP4
Färgtillverkning Gummisurrogattillverkning Linoleum- och heltäckningsmattillverkning Terpentinfabrik Trällsfabrik	Cigarettändarettillverkning Garage för bussar, tomma lastbilar och järnvägsvagnar Tillverkning av materialfaktor M3, skumplast, skumgummi och skumgummivarutillverkning Tjårtillverkning	Cellulosanitratillverkning	Tillverkning av fyrverkeripjäser

Bilaga B Human Reliability Assessment

Nedan följer ett exempel på vägledning för en Human Reliability Assessment (HRA). För en mer detaljerad beskrivning av de olika delarna, se Kirwan 1994.



Figur 12. Vägledning för Human Reliability Assessment (HRA) enligt Kirwan (1994).

Vägledningen är ett systematiskt tillvägagångssätt för att bedöma mänskligt felhandlande i olika processer. Vägledningen är uppdelad i flera delmoment enligt följande (Akselsson 2003):

- Inledningsvis genomförs en *problemidentifiering* där det fastställs vilka moment som ska analyseras. Exempelvis kan vissa moment under normala driften eller underhållet analyseras. Även kritiska moment kan analyseras där människan har en avgörande roll för utfallet.
- I *uppgiftsanalysen* beskrivs, i detalj, hur momenten utförs och kritiska moment identifieras.
- Vidare så sker en *identifiering av möjliga fel* som kan uppkomma när människan utför uppgiften. Även fel som medför att systemet blir sårbart tas med för analys. I detta moment identifieras även Performing Shaping Factors som utgör faktorer som påverkar beteenden och prestationer. Resultatet från detta moment kan även användas för att fatta beslut.
- I *Representationen* systematiseras informationen för att sedan kunna användas kvantitativt. Händelseträdet utgör ett exempel på verktyg som underlättar systematiseringen.
- *Kvantifieringen* sker genom beräkning av sannolikheten för felhandlingar, dvs. HEP (Human Error Probability).
- Efter kvantifieringen bedöms de analyserade momenten för att avgöra om människans del i systemet medför ett för stort bidrag till risknivån. *Är risknivån acceptabel* eller ej?
- Om risknivån påverkas oacceptabelt mycket genom mänskligt handlande så *implementeras riskreducerande åtgärder*. Dessa åtgärder kan exempelvis vara att påverkar latenta förhållanden, beteende- och prestationspåverkande faktorer (PSF).
- Efter att åtgärder har implementerats krävs en *uppföljning och dokumentation* för att tillse att åtgärderna har fått den effekt som förväntas. Samtidigt konstateras att antaganden gjorda i analysen gäller i systemets livscykel eller till nästa HRA.

Till denna analys krävs analys av ytterligare faktorer som har stor betydelse för bedömningen av människans reliabilitet. Exempel på sådana faktorer är management- och organisationsfaktorer (MO-faktorer) vilka har stor betydelse för människans reliabilitet.

Det finns inget normativt verktyg för hantering av MO-faktorer i HRA-metodiken. Dock har det erfarenhetsmässigt framarbetats indikatorer som korrelerar med säkerheten. Exempel på sådana indikatorer är högre frekvens av oplanerat underhåll, förekomst av risktagande eller förekomst av felaktigt beteende (Akselsson 2003).

Bilaga C Metod för sårbarhetsanalys

Denna metod för sårbarhetsanalys är framtagen av Einarsson & Rausand (1998). I det första arbetsbladet genomförs en genomgång av de hot som föreligger. En grov gallring av hot och scenarion genomförs samt en redogörelse för vilka åtgärder som finns tillgängliga för att möta dessa hot.

Hot	Scenario	Sannolikt? (J/N)	Potentiella direkta effekter?	Tillgångar/system/planer för skadereduktion/återuppbyggnad etc.		Anmärkning
				Interna	Externa	

Tabell 15. Arbetsblad 1 Sårbarhetsanalys. Källa: Einarsson & Rausands (1998).

Utifrån den grova gallringen som genomfördes i Arbetsblad 1 sker en kvantifiering av respektive scenario enligt följande:

1. Sannolikheten för respektive scenario bedöms med skalan 4-0
2. Konsekvensen för respektive scenario bedöms med skalan 4-0 för varje konsekvenstyp och viktas sedan samman med följande formel:

$$C_i = k_h * c_{h,i} + k_e * c_{e,i} + k_b * c_{b,i} + k_p * c_{p,i}$$

Där:

C = Konsekvensen av ett scenario

K = Vikt för konsekvensen (Vikterna k_b , k_e , k_b och k_p väljs utifrån hur pass viktig konsekvensen är för systemets uppgift).

Index:

i står för scenarionummer i och motsvarar 1,2,3,....

h betecknar människor (t.ex. $C_{h,i}$ = konsekvensen av scenario i med avseende på människor)

e är uttryck för miljö

b betecknar affärlivet

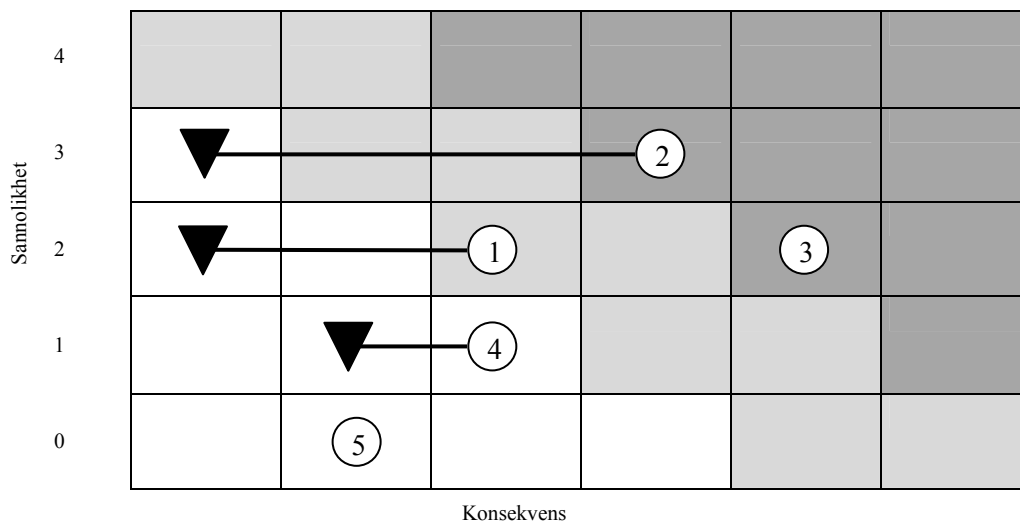
p står för egendom

3. De resurser (skyddsåtgärder) som finns för att skadereduktion, återuppbyggnad etc. påverkan på konsekvensen värderas på en skala från 4-0.
4. När alla sannolikheter, konsekvenser och skyddsåtgärder är värderade för respektive scenario, så multipliceras värdena för sannolikheter och konsekvenser ihop. Givetvis så subtraheras skyddsobjektets påverkan på konsekvensen. Den produkt som blir högst är det scenario som är mest angeläget att beakta.

Scenario	Sannolikhet för scenario	Konsekvens för resp. scenario				Resurser för skadereduktion /återuppbyggnad etc.		Summa
		Påverkan på människan	Påverkan på miljön	Påverkan på verksamhet	Påverkan på egendom	Interna	Externa	
Nr & beskrivning	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	
1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2								
3								

Tabell 16. Arbetsblad 2 Sårbarhetsanalys. Källa: Einarsson & Rausand (1998).

Resultatet kan även presenteras i en så kallad riskmatris, vilket ger en grafisk presentation av hoten och de skadereducerande åtgärderna.



Figur 13. Exempel på konsekvens-sannolikhetsmatris för de olika scenarierna. Cirklarna utgör konsekvenserna före skadereducerade åtgärder. Trianglarna utgör således konsekvensen efter att skadereducerade åtgärder har vägt in. Källa: Einarsson & Rausand (1998).

Biaga D Hierarkisk struktur på brandskyddsstrategin i byggnaden

