LUND UNIVERSITY

Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer

Olsson, Fredrik; Frantzich, Håkan

1999

Link to publication

Citation for published version (APA):
Olsson, F., & Frantzich, H. (1999). *Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer.* (LUTVDG/TVBB--3107--SE; Vol. 3107). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:
2

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Download date: 14. Jan. 2026

Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer

Fredrik Olsson
Håkan Frantzich

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Rapport 3107, Lund 1999

Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer

Fredrik Olsson
Håkan Frantzich

Lund 1999

Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer
Fire Safety Design by Using Simple Risk-Based Equations

Fredrik Olsson
Håkan Frantzich

Report 3107
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3107--SE

Number of pages: 42
Illustrations: Fredrik Olsson, Håkan Frantzich

Keywords: Reliability index β, fire safety engineering, risk analysis, deemed-to-satisfy solutions, emergency evacuation, risk-based equations, design, protection

Abstract: The aim of this study was to derive simple risk-based equations to be used in fire safety design. Design values for the equations are derived from a specific target risk, usually described as the target reliability index β. Using the design values with accepted calculation methods would result in an accepted engineering solution to the problem. This approach is commonly used in structural engineering and is here applied to the design of exit width for emergency evacuations in shopping malls. The result from the study shows the approach is practicable usable, but future research is required to increase the margin of safety of the method. (In Swedish)

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

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

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING

1 INLEDNING 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Mål och syfte 2
1.3 Metod 3
1.4 Avgränsningar 4
1.5 Översikt 4

2 RISKBASERAD BRANDTEKNISK DIMENSIONERING 5
2.1 Riskanalysmetoder 5
2.2 Värdering av risk 7
2.3 Acceptabel risk 7
2.4 Svårigheter 8

3 SÄKERHETSINDEX β-METODEN 11
3.1 Bakgrund 11
3.2 Teori 11
3.3 Kopplingen till brandteknisk dimensionering 14

4 TILLÄMPNINGSEXEMPEL – UTRYMNING AV VARUHUS 17
4.1 Förenklad brandskyddsgenomgång 17
4.2 Framtagning av dimensioneringsekvationer 25
4.3 Känslighetsanalys 29

5 DISKUSSION 37
5.1 Säkerhetsmarginalen 37
5.2 Modellosäkerhet 39
5.3 Osäkra variabler 40
5.4 Förslag till fortsatt forskning 41

6 REFERENSER 43

Sammanfattning

Det finns idag ett antal traditionellt accepterade värden som man kan använda för brandteknisk dimensionering. Sådana värden finns bland annat för maximalt gångavstånd till utrymningsväg, avstånd mellan byggnader samt den fria bredden i utrymningsvägarna från olika lokaler. Det senaste värdet säger enligt råden i byggreglerna att det skall finnas 1m dörrbredd per 150 personer som förväntas vistas i lokalen. Dessa så kallade schablonvärdena saknar ofta en vetenskaplig bakgrund, utan baseras vanligen på en bred acceptans bland berörda parter. Dimensioneringsvärdet för dörrbredd tar varken hänsyn till lokalens golvarea eller takhöjd. Likväl tar den ingen hänsyn till vilka brandtekniska installationer som finns. Både brandtekniska installationer, golvarea och takhöjd har en tydlig inverkan på nivån av personsäkerheten i en byggnad.

Syftet med denna rapport är att försöka tillämpa en metod, vilken är vanlig inom området bärande konstruktioner, för att ta fram enkla riskbaserade ekvationer för dimensionering av utrymningssäkerheten. Målsättningen med arbetet är att presentera ett dimensioneringsverktyg som då det används skapar en förutbestämd säkerhetsnivå i den aktuella byggnaden. Metoden utnyttjar ett säkerhetsindex β och bygger på att härleda vilket värde en parameter i en gränstillståndsekvation skall ha för att en förutbestämd minsta felsannolikhet skall uppnås. Gränstillståndsekvationen bygger på att differensen mellan ”bärförmågan” och ”lasteffekten” beräknas. Felsannolikheten respresenteras av att denna differens antar negativa värden. I rapporten representeras bärförmågan med tillgänglig tid för utrymning och lasteffekten med utrymningstiden.

Ett tillämpningsexempel presenteras i rapporten där metoden används för att fram ekvationer för beräkning av utrymningsbredden för byggnadsklassen varuhus. Dessa ekvationer tar hänsyn till lokalens geometri i form av golvarea och takhöjd samt vilka brandtekniska installationer som finns installerade. De brandtekniska installationerna representeras av automatiskt brandlarm och utrymningslarm i form av talat meddelande eller ringsignal.

I syfte att undersöka metodens giltighet och användningsområden genomförs en omfattande känslighetsanalys. Känslighetsanalysen påvisade att resultatet påverkas allt för mycket av osäkerheten i ingående variabler, där bland brandens tillväxthastighet, modellosäkerheten samt valet av reaktionstid. Metoden fungerar även dåligt för vissa dimensioneringsfall där antalet de brandtekniska installationernas skydd är förhållandevis lågt och lokalen är relativt liten. En av anledningarna till detta är att differensen mellan utrymningstid och tillgänglig tid för utrymning är för liten i normalfallet.

De riskbaserade ekvationer som presenteras är därför inte praktiskt användbara i dagsläget. Osäkerheten i själva metoden och de ingående variablerna är allt för stor för att metoden skall fungera i nuläget. Idén med att använda enkla ekvationer baserade på risk för dimensionering av brandskydd i en byggnad är allt för tilltalande och bör underkastas vidare forskning. Denna forskning bör fokuseras på hur säkerhetsmarginalen skall definieras samt vilka värden som skall väljas till de ingående parametrarna. Med de erfarenheter som detta projekt dragit bör även andra områden inom brandteknisk ingenjörsvetenskap där metoden kan vara användbar undersökas.

1 Inledning

Denna rapport är ett delprojekt i ”Dimensionering efter beräknad risk” som stöds av Brandforsk och Svenska byggbranchens utvecklingsfond (SBUF). Delprojektet omfattar fastställande av scenarier, val av beräkningsuttryck, approximering av datorberäkningar med regressionsuttryck samt beräkning av säkerhetsfaktorer (partialkoefficienter). Delprojektet behandlar byggnadstypen varuhus.

1.1 Bakgrund

I dagens dimensionering av utrymningssäkerheten finns två olika metoder; förenklad dimensionering och dimensionering genom beräkning. Genom att byggföreskrifterna är skrivna som funktionsregler ges denna möjlighet. Förenklad dimensionering bygger på att lokalen begränsas i yta av hur långt det får vara att gå till en utrymningsväg. Gångavståndet sätter alltså en gräns för lokalens storlek. Beroende på lokalens verksamhet används olika värden på den maximala gångsträckan. I tillägg till detta skall utrymningsvägens bredd bestämmas av det maximala antalet personer i lokalen så att 1 m utrymningsbredd motsvarar 150 personer. Dessutom finns det vissa detaljerade åtgärder som måste vidtas som till exempel att installera utrymningslarm i samlingslokaler, att använda ytskikt av vissa lägsta klasser på väggar och tak.

Använder man sig av dimensionering genom beräkning för att bestämma t ex lokalens storlek baseras denna ofta på en jämförelse mellan tillgänglig tid för utrymning och tiden för utrymning. Storleken på lokalen blir då mer beroende av de verkliga förhållandena i lokalen och en mer nyanserad dimensionering kan åstadkommas. De tidigare detaljreglerande åtgärderna ingår ofta som en del i förutsättningarna för beräkningen men inte alltid. Kravet på ytskikt frångås inte i många fall eftersom eventuella vinster med lägre klass på ytskiktet kan vara svåra att visa. Det innebär att det oftast är gångsträckan till utrymningsvägen och bredden på densamma som behandlas i beräkningsmetoden.

I dag är valet av indata till beräkningsmodellerna till stor grad subjektiva. Eftersom det inte finns framtagna dimensionerande värden och en ”säker tradition” saknas måste ingenjören för varje nytt fall välja värden på de parametrar som ingår. Det gör att den resulterande säkerhetsnivån blir okänd och möjligheterna att ”räkna hem” även mindre säkra lösningar existerar. För att undvika att de funktionsbaserade byggföreskrifterna leder till mindre säkra byggnader om beräkningsmetoden används bör denna utvecklas. Utvecklingen bör ske så att beräkningsmetoder baserade på kvantifierad risk tas fram.

För att kunna ta fram sådana metoder måste man först definiera begreppet risk. I rapporten 'Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler' av Karlsson m fl (1996) ges en strukturerad beskrivning av detta problem. Bland de frågor som uppkommer i samband med arbetet att ta fram nya metoder är

- Hur utvärderas och beräknas risk?
- Vad menar vi med risk?
- Hur varierar utvärderingsmetoder med val av systemnivå?
- Hur ser länken mellan riskanalys och dimensionering ut?
- På vilket sätt kommer osäkerheter in i bilden?
- Vad är acceptabel risk?
- Hur behandlas stora fel?

Flera av dessa frågor är högst relevanta och bör kunna besvaras innan riskbaserade metoder introduceras.

Denna rapport är tänkt att ge en inblick i ett av de områden som definierats med en fråga nämligen 'hur ser länken mellan riskanalys och dimensionering ut?'. För att kunna länka samman riskanalys med dimensionering måste begreppet risk definieras. Med risk avses här den individuella risken. Den utgörs i princip av sannolikheten att bli drabbad av den aktuella faran. Det kan då röra sig om risken att omkomma till följd av en brand i en byggnad. Den individuella risken avser risken för en person i byggnaden och i begreppet ingår ingen information om det totala antalet personer som kan komma att bli drabbade. För att också ta hänsyn till möjligheten att fler än en person drabbar utnyttjas samhällsrisken som är ett kombinerat mått på sannolikheten för händelsen och dess konsekvens.

Resultatet av arbetet som presenteras i denna rapport har som syfte att begränsa den individuella risken för de fall brand uppstår i de aktuella byggnaderna. En annan aspekt är vilken systemnivå som analysen avser. Riskanalys kan göra på lite olika nivåer och resulterar i olika typ av information. Exempel på nivåer utgör:

- Analys av hel byggnad
- Analys av delsystem, till exempel utrymningssäkerhet
- Analys av enstaka komponent, till exempel sprinklersystem

De metoder för dimensionering som idag används; förenklad dimensionering och dimensionering genom beräkning kan oftast hänföras till analys av delsystem eller komponent. Dimensionering genom beräkning för utrymningssäkerhet kan anses för ett delsystem. Där ingår då faktorer för andra komponenter såsom utrymningslarm, brandförlopp, personantal som ett system. Men det existerar förmodligen flera andra liknande system i samma byggnad. För att knyta ihop de olika metoder hittills beskrivits kan terminologin från Karlsson m fl (1996) med fördel användas. Där delas metoderna upp i fem metoder M1 - M5. De kan struktureras som

M1: Schablonmetod.
M2: Metod baserad på visst statistiskt underlag.
M3: Tillförlitlighetsbaserad dimensionering (enstaka analytiska uttryck)
M4: Felrisk beräknad genom numerisk simulering (Monte Carlo-metoder)
M5: Utvärdering av stora händelseträd.

Av dessa är endast de tre sista relaterade till kvantifierad risk på något sätt. De två första kan ses som dagens metoder för dimensionering. Den andra, M2, är visserligen baserad på statistiskt underlag i form av till exempel genomförda försök men någon form av riskmått ingår inte i metoden. För att kunna ta ett steg vidare bör det undersökas om inte metoder på nivå M3 kan användas. Dessa metoder baseras på individuell risk uttryckt i form av ett säkerhetsindex β. Detta säkerhetsindex kan översättas till en sannolikhet för att inte alla personer i en byggnad kan hinna utrymma i tid. Det är därför ett mått på den individuella risken.

1.2 Mål och syfte

Projektets målsättning är att presentera en metodik för utrymningsdimensionering som ersätter vissa av de nuvarande metoderna. Ersättandet medför att vi blir medvetna om den säkerhetsnivå som brandskyddet förser byggnaden med. Det är även möjligt att skapa en någorlunda lik säkerhetsnivå över hela byggandsklassen. Med en byggnadsklass avses byggnader med likartad verksamhet och geometrisk utformning, till exempel ett enkelt enplans varuhus.

Syftet är att presentera en dimensioneringsekvation för en given byggnadsklass som vid användandet genererar en dimensioneringsparameter utifrån antagen definierad risk. Dimensioneringsparametern är primärt den erforderliga dörrbredden i lokalen. Designekvationen innehåller inslag som har att göra med brandförlopp, personers reaktion vid brand och utrymning, byggnadens utformning och utrustning samt persontätheten i byggnaden.

1.3 Metod

Säkerhetsnivån kan för många ingenjörsapplikationer beskrivas med en parameter, säkerhetsindex β. Indexet innehåller information om den säkerhetsmarginal som finns i tillståndsekvationen samt osäkerheten i dess ingående parametrar. Ett exempel på en tillståndsekvation som beräknar marginalen M är $M = R - S$, där R och S är oberoende med givna medelvärden och standardavvikelser. R och S kan exempelvis representera tillgänglig kapacitet respektive behovet. Säkerhetsindex β är ett mått på sannolikheten att marginalen når gränstillståndet $M = 0$. För att kunna bestämma säkerhetsnivån eller tillförlitligheten hos ett system beskriven av en gränstillståndsekvation behövs en enkel metod. En sådan metod är First Order Second Moment (FOSM) metoden. FOSM-metoden används flitigt inom konstruktionsläran för att härleda partialkoefficienter och bestämma dimensionerande värden. Den har även tillämpats inom andra discipliner såsom vård (Hamed, 1997) och brandskydd (Magnusson m fl, 1994; 1995; 1997 och Frantzich, 1998). Vid dimensionering kan FOSM-metoden används på olika nivåer beroende av hur mycket information som finns tillgänglig. Det finns fyra nivåer som relaterar till metoden (Thoft-Christensen m fl, 1982)

- Nivå 1. Deterministisk metod. Felsannolikheten härleds inte direkt utan uttrycks som karakteristiska värden och som säkerhetsfaktorer eller partialkoefficienter. Det är normalt på denna nivå som dimensionering sker
- Nivå 2. Felsannolikheten kan bestämmas genom att beskriva ingående variabler med två värden; medelvärde och standardavvikelse. Det tas ingen hänsyn till vilken fördelning som variablerna har. Denna nivå representeras direkt av FOSM-metoden.
- Nivå 3. Genom att ta hänsyn till variablernas kompletta sannolikhetsfördelning kan den ”sanna” felsannolikheten härledas genom numeriska metoder
- Nivå 4. Denna nivå omfattar även hänsynstagande till ekonomiska aspekter genom kostnad-nytta analys.

I denna rapport används en nivå 2 metod för att ta fram dimensioneringsvärden, etcetera till dimensionering enligt nivå 1. Detta innebär att om man använder de resultat som presenteras i rapporten vid en dimensionering i framtiden så utförs denna dimensionering på nivå 1 enligt ovan. För mer information om säkerhetsindex β-metoden hänvisas till kapitel 3. Arbetet genomförs i följande ordning:

1. Bestämma scenarier
2. Bestämma de osäkra variablerna
3. Beräkna regressionsuttrycken för datorsimuleringarna
4. Bestämma den acceptabla risken
5. Definiera klasserna av byggnader (rum)
6. Beräkna dimensionerade värden/dimensioneringsekvationer

1.4 Avgränsningar

Arbetet är ett försök att applicera en enkel riskanalysmetodik på brandtekniska problem. Resultatet är för närvarande inte direkt användbart i praktisk dimensionering. Det är av största vikt att de giltighetsvillkor som presenteras i rapporten efterlevs.

1.5 Översikt

I kapitel 2 redovisas olika metoder för *riskbaserad brandteknisk dimensionering*. En diskussion förs kring viktiga begrepp som riskvärdering, acceptabel risk samt svårigheter med metodiken.

Säkerhetsindex β-metoden redovisas och förklaras med bakgrund och teori i kapitel 3. Kopplingen till brandteknisk dimensionering förtydligas.

I kapitel 4 presenteras ett *tillämpningsexempel – utrymning av varuhus*. I exemplet används metoden för att ta fram dimensioneringsekvationer för erforderlig dörrbredd. Hänsyn tas till lokalens geometri och befintliga brandtekniska installationer. En omfattande känslighetsanalys avslutar kapitlet.

Diskussionen i kapitel 5 förs kring resultatet av känslighetsanalysen mynnar ut i ett förslag till fortsatt forskning.

2 Riskbaserad brandteknisk dimensionering

Vid dimensionering av brandskydd medför dagens byggregler att två huvudsakliga metoder kan användas. Den första, kallad förenklad dimensionering, innebär att projektören använder sig av de råd och rekommendationer som finns i byggreglerna och därmed dimensionerar brandskyddet på traditionellt sätt. Den andra, kallad dimensionering genom beräkning, gör det möjligt att göra avsteg från gällande regler om det genom verifiering kan påvisas att säkerheten inte försämras. Kravet på dokumenterad verifikation är således större i denna metod. Dimensionering genom beräkning kan ske på olika nivåer och vara antingen deterministisk eller probabilistisk.

Förenklad dimensionering använder alltså traditionellt accepterade tabellvärden för att dimensionera brandskydd. Den följer de generella rekommendationerna på dörrbredd, längd till utrymningsväg med mera som anges i nuvarande och tidigare byggföreskrifter. Fördelarna med metoden är att den är enkel och kräver inga specialistkunskaper. Metoden saknar dock kostnadseffektivitet och kan ses som oflexibel. Den lämpar sig därför bäst för okomplicerade, traditionella byggnader.

Dimensionering genom beräkning baseras på beräkningar och i en särskild utredning jämförs brandförlopp och utrymning för att uppskatta säkerheten. Man använder sig exempelvis av ett värsta troliga fall. Metoden är flexibel och ger utrymme för kreativa lösningar. Beroende på byggnadens komplexitet och hur stor konsekvens som kan uppstå vid brand kan det vara lämpligt att genomföra en riskbaserad dimensionering genom beräkning. Denna dimensionering tar genom en speciell metodik hänsyn till om de brandtekniska system fungerar eller inte. Det är även möjligt att ta med händelser som styrs av den mänskliga faktorn. Den riskbaserade dimensionering är en fullständig analys av vad som kan tänkas inträffa om det brinner i en byggnad. Metoden är även en utmärkt känslighetsanalys som kan utreda hur exempelvis variationer i brandens tillväxthastighet, utrymningsvägarnas tillgänglighet, detektionssystemets pålitlighet etcetera påverkar säkerheten. Becker (1999) beskriver utförligt hur denna dimensionering kan utföras.

2.1 Riskanalysmetoder

Riskanalysmetoder kan delas in olika grupper beroende på deras grad av kvantifierbarhet, vilket illustreras i Figur 1 nedan.

Kvalitativa metoder	Halv-kvantitativa metoder	Kvantitativa metoder
HazOp	Indexmetoder	Konsekvensanalys
What-if	Gretener	QRA / PRA
Checklistor	NFPA	Osäkerhetsanalys

Figur 1 Redovisning av olika riskanalysmetoder

Den riskanalysmetod som används här är kvantitativ. För tydlighetens skull redovisas mycket kort även de två andra metodtyperna.

2.1.1 Kvalitativa metoder

Till de enklare metoderna sett ur ett kvantitativt begrepp hör grovanalysmetoder, HazOp och liknande. Dessa är vanligen speciellt anpassade för olika verksamheter till exempel kemisk processindustri. Resultatet är ofta i form av beskrivningar av skeenden vid olika förutsättningar. Metoderna används främst för att identifiera riskerna. Visserligen är metoderna enkla till sin

struktur och ger resultat som skulle kunna anses vara otydliga men man ska inte förledas att tro att de är dåliga för den sakens skull.

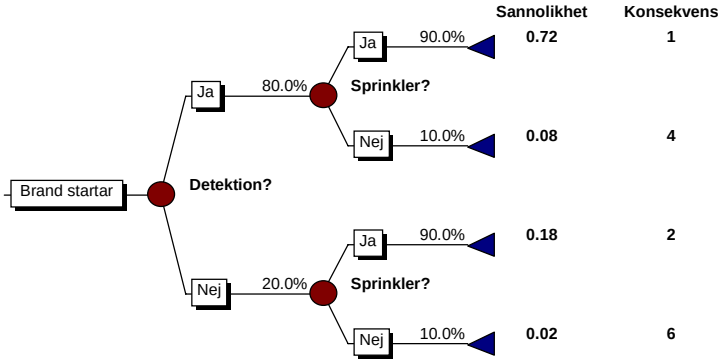
2.1.2 Halv-kvantitativa metoder

Nästa steg i raden av metoder för riskanalyser är de så kallade graderingsmetoderna eller indexmetoderna. De är något mer detaljerade i sin uppbyggnad och innehåller inslag av mått på konsekvenser av den oönskade händelsen samt sannolikheten för densamma. Dessa mått behöver inte utgöras av explicita konsekvens eller frekvensmått, utan kan beskriva storleksordningar. Den stora nyttan med denna typ av metoder är att de ger ett underlag för att kunna jämföra olika alternativ förenade med olika risk. De ger alltså en rangordning på alternativen uttryckt i risk. Exempel på sådana metoder är SIA 81, också känt som Gretenersystemet, NFPA 101M och Räddningsverkets riskmatris (Räddningsverket, 1989).

2.1.3 Kvantitativa metoder

Den sista gruppen av metoder är där som risken beskrivs i kvantitativa termer till exempel i sannolikheten för den oönskade konsekvensen eller i förväntat antal döda per år till följd av en viss verksamhet. Till denna grupp räknas också de konsekvensanalyser som inte innehåller något om sannolikheter. Dessa metoder brukar beskrivas som deterministiska eftersom de ger ett enstaka värde som resultat. Detta kan vara fallet när utrymningssäkerheten i en lokal utvärderas. Mer vanligt är dock att sannolikheten och konsekvensen kombineras till ett riskmått. Man talar då ofta om så kallade probabilistiska metoder eftersom de just innehåller en beskrivning av konsekvenserna med olika sannolikheter. Alla riskanalyser kräver någon form av beskrivning av den oönskade händelsen.

Vad avser analys av utrymningssäkerheten kan det kanske vara lämpligt att använda begreppet kritiska förhållanden i stället för att ange antalet döda i en verksamhet. Anledningen är att detta begrepp anges i BBR (Boverket, 1998) som gränsen för vad som är acceptabelt dimensioneringsvillkor. Det finns i dag vedertagna former för att genomföra kvantitativa riskanalyser (QRA - Quantitative Risk Analysis) för scenarier som beskrivs med hjälp av händelseträd (se Figur 2) . Dessa kan ta hänsyn till att bland annat olika tekniska system inte fungerar, med given sannolikhet. Om indata till riskanalysen är förknippad med stora variationer är det lämpligt att den kvantitativa riskanalysen dessutom genomföras sammantaget med en osäkerhetsanalys. Resultatet blir både mycket detaljerat och mycket omfattande. Det är därför viktigt att en avvägning görs mellan detaljeringsgrad och mängd information som behövs för att fatta beslut om åtgärder.



Figur 2 *Händelseträdet beskriver vad som kan inträffa efter det att en brand uppstår. För varje scenario beräknas sannolikhet och konsekvens. Ett fullständigt händelseträd kan omfatta flera hundra scenarier.*

Riskbaserade ekvationer för dimensionering är en kvantitativ riskanalysmetod som passar in i den grupp som beskrivits ovan.

2.2 Värdering av risk

Risker kan värderas utifrån olika grundläggande principer som kan användas på samhällsnivån. När det gäller individens sätt att värdera de risker han utsätter sig för så styrs de i allra högsta grad av den enskildes egna erfarenheter och värderingar. Ett bra exempel är att vi är mer villiga att acceptera trafikolyckor än att det sker en härdsmälta i ett av våra kärnkraftverk. Detta till trots att andelen människor som omkommer i trafiken långt överstiger de antal som dödas i kärnkraftsrelaterade olyckor. Är risken frivillig (rökning, bilkörning, bergsklättring, etcetera) så accepterar man vanligen en högre risk än om det finns något tvång med i bilden.

2.2.1 Grundläggande principer

I ”Värdering av risk” (Räddningsverket, 1997) beskrivs fyra olika riskvärderingsprinciper som i dagsläget börjar tillämpas runt om i landet. Vi har rimlighetsprincipen som säger att risker som kan undvikas med rimliga medel skall elimineras. Proportionalitetsprincipen säger att risken skall överensstämma med fördelarna. Fördelningsprincipen anger att risker jämt fördelade i samhället och att de som får fördelar av aktiviteten skall även bära dess risker. Den sista principen syftar till att undvika katastrofer. Det är bättre med många små olyckor än en stor.

2.3 Acceptabel risk

Det finns några olika metoder för att bestämma vilken risk som kan anses vara acceptabel. En metod bygger på att använda statistiska data för att se hur sannolikt det är att en brand medför skadade människor. Tillförlitlig statistik finns sedan 1996 tillgänglig hos Räddningsverket. Nackdelen med denna metod är att den baseras på gårdagens händelser. Det finns ingenting som säger att en risk är acceptabel bara för att antalet olyckor har legat på en viss nivå under en längre tid.

En annan metod bygger på att en riskanalys utförs för en byggnad som fullständigt uppfyller de krav som anges i bygglagstiftningen. Resultatet av riskanalysen kan sedan användas för att bestämma acceptabel risk. Metoden har prövats på sjukhus (Olsson, 1999) och resultatet föll väl ut. Då byggreglerna antas av riksdagen och innehåller lagtext och rekommendationer avseende brandskydd i byggnader så borde byggnader som uppförs enligt reglerna anses ha en säkerhetsnivå som är accepteras av samhället.

Om alternativet att studera tillgänglig statistik väljs så kan dimensionerande β-värde väljas genom att följa nedanstående metod.

Bestäm antalet bränder i varuhus utifrån tillgänglig statistik. I hur många av dessa bränder omkommer det personer eller skadas det personer? Denna siffra kan användas för att uppskatta acceptabel risk att skadas givet att brand har inträffat. Denna sannolikhet kan direkt användas i optimeringsberäkningen, då uttryckt i β. Framtaget β-värdet gäller givet att brand uppkommer.

Det problem som kvarstår med denna metod är att det finns ett mörkertal i antalet bränder. Antalet kan vara större än antalet rapporterade bränder. Denna brist ger resultat på säkra sidan. Dessutom är frågan om man kan anta att de som skadas eller dör är de enda som utsatts för kritiska förhållanden. Eftersom valet av kritiska förhållanden är relativt konservativt kan man anta

att ett större antal personer blivit utsatta för kritiska förhållanden än de som skadas vid en och samma brand. Denna brist ger resultat på osäkra sidan eftersom den underskattar antalet bränder med personer utsatta för kritiska förhållanden.

2.4 Svårigheter

Att dimensioner efter beräknad risk innebär naturligtvis en rad svårigheter. dessa svårigheter kan medföra att resultat analysen blir svårtolkat och kanske inte helt sanningsenligt. Men, vi har idag metoder för att hantera dessa svårigheter. Dessa metoder i kombination med kunskap och erfarenhet minskar osäkerheterna vid den riskbaserade brandteknisk dimensioneringen.

2.4.1 Osäkerheter

Riskanalyser är behäftade med en rad osäkerheter. Lundin (1999) delar in dessa osäkerheter i följande klasser:

- Resurser
- Antaganden och beslut
- Matematiska modeller
- Indata

Osäkerheten i resurserna är en mycket allmän klass. Den inkluderar faktorer som kunskapsläget, kvalitetskontroll, projektledning, företagets policys, osäkerheter i problemformuleringen, etc. Dessa faktorer är vanligtvis inte relaterade till den enskilda ingenjörens förmåga, utan de är begränsningar som oftast fastställs av utomstående. Osäkerheterna i antaganden och beslut är en klass som härrör till själva problemlösandet. Här inkluderas målformulering, begränsningar, ingenjörens beskrivande förmåga, val av analysmetod samt identifiering och beskrivning av hot och risker. Osäkerheterna i de matematiska modellerna är en klass som relaterar till hur väl en modell beskriver verkligheten. I denna klass ingår de osäkerheter som programmen för brandförlopps- och utrymningssimulering är behäftade med. Den fjärde och mest specifika klassen av osäkerheter är den som behandlar indata. Indata är ofta mått på verkliga förhållanden och osäkerheten kan kvantifieras med hjälp av statistiska modeller.

Osäkerheter är något som vi måste beakta vid brandteknisk dimensionering. Framförallt är våra beräkningsverktyg förknippade med en rad osäkerheter. Forskningen är på väg framåt och metoder för hantering av osäkerheter i vissa specifika situationer finns. Men, det saknas allmängiltiga verktyg som ur ett brett perspektiv kan korrigera för dessa osäkerheter.

2.4.2 Dolda avsikter

Vid en riskbaserad dimensionering så är det enligt byggreglerna (BBR, 1999) acceptabelt att frångå dessa om säkerhetsnivån inte försämras. Men, bara för att man uppfyller acceptanskriteriet innebär detta inte att alla lösningar är godkända. Det finns vissa detaljer i de reglerna som lätt glöms bort då de finns med som dolda avsikter.

Arbetet med att dimensionera utrymningsvägarna med denna riskbaserade metod förutsätter att ett antal andra detaljlösningar är vidtagna. Det kan gälla att ytskikten i lokalerna är de som föreskrivs i BBR (Boverket, 1998) eller att dörrar utformas på ett korrekt sätt och är utåtgående. Det finns även med dessa beräkningsmetoder ett stort antal detaljer som måste lösas med detaljreglerade metoder. Det går inte att räkna på allt. Ur allmänt säkerhetstänkande måste denna typ av beräkningar också förses med vissa restriktioner. Det bör till exempel inte vara möjligt att

räkna fram bredder på utrymningsvägarna som skulle innebära att det skulle räcka med endast en utgång. Kravet på två av varandra oberoende utrymningsvägar för i princip alla byggnader och brandceller bör inte frångås. Det kan leda till förhöjd säkerhetsnivå i vissa mindre byggnader men det kan vara motiverat. Vidare så medför den beräkningsmetod för utrymningsdimensionering som presenteras av Boverket (1994) att det är mer gynnsamt att placera dörrar på motsatt sida, långt ifrån varandra. Denna placering ger naturligtvis bättre förutsättningar vid utrymning. Att begränsa maximal väg till utrymningsväg till exempelvis 30 m kan medföra en ökad brandcellsindelning, med en säkrare byggnad som följd. Dessa dolda avsikter får inte glömmas bort då dimensionering sker genom beräkning.

3 Säkerhetsindex β-metoden

Denna metod att bestämma risker i byggnader baseras på att risken för den oönskade händelsen kan uttryckas i form av ett säkerhetsindex β. Detta index kan användas för att uppskatta sannolikheten att den oönskade händelsen uppstår. Metoden att bestämma säkerheten, eller mer noga, tillförlitligheten hos ett system har använts med stor framgång inom bland annat konstruktionsområdet. Tillförlitligheten för byggnadsdelars bärande förmåga är uttryckt i form av olika säkerhetsindex.

3.1 Bakgrund

Vid dimensionering delas byggnadsdelarna in i olika säkerhetsklasser beroende på hur vitala de är för hela byggnadens hållfasthet. Indirekt speglar säkerhetsklasserna risken för personskador vid brott av byggnadsdelen. Till säkerhetsklass 3 hör de delar som är mest betydelsefulla som takbalkar, ytterpelare och ytterbalkar. Till säkerhetsklass 1, som är den lägsta, hör komponenter som takplåtar och väggreglar. För brottgränstillståndet är värdena för säkerhetsindex β beskrivna i Tabell 1. För de fall nå fördelningarna som beskriver osäkerhet i last och hållfasthet är normalfördelade kan även sannolikheten för brott bestämmas vilket också visas i Tabell 1. Observera att nedanstående värden på β är ett totalt mått på sannolikheten för brott. I fallet med utrymning uttrycks β givet att brand uppstår.

Tabell 1 Säkerhetsklasser, sannolikheten anger frekvensen för brott per år.

Säkerhetsklass	β	p_f
1. Mindre allvarlig	3.8	0.007 %
2. Allvarlig	4.3	0.0008 %
3. Mycket allvarlig	4.8	0.00008 %

Metoden kan med fördel användas på enstaka dimensioneringsuttryck som för att beräkna erforderlig armeringsarea i en betongbalk. Men den skulle också kunna användas för att beräkna erforderlig dörrbredd i en lokal. Tillförlitligheten, uttryckt i β, kan utgöras av sannolikheten att få sådana förhållanden som leder till att personer inte hinner utrymma i tid.

3.2 Teori

I de bästa av alla världar skulle det vara enkelt att tala om hur bred dörren skulle vara eftersom det brandförlopp som är dimensionerande är entydigt bestämt. Så är det ju inte utan det är egentligen ganska osäkert, inom vissa gränser, hur brandförloppet kommer att se ut vid en eventuell brand. Vissa variabler i beräkningsuttrycken är alltså förenade med en viss osäkerhet. Det är när dessa osäkerheter kombineras som det kan uppstå situationer som är oönskade, till exempel att inte alla personer i en byggnad hinner utrymma eller att en takbalk brister.

För att beskriva säkerhetsindexmetoden antas följande. Antag att systemet kan beskrivas av två variabler R och S som båda är förenade med osäkerheter. Säkerhetsmarginalen mellan dessa kan definieras som

$$G = R - S \qquad \textit{Ekv 1}$$

där R kan ses som tillgänglig kapacitet och S är behovet. Ekvationen benämns ofta systemets tillståndsekvation. Inom området bärande konstruktioner är R detsamma som hållfastheten och S

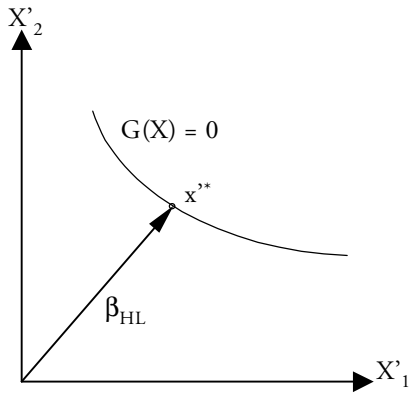
är lasten. För utrymningsfallet kan man se dem som tillgänglig tid för utrymning respektive utrymningstiden.

Eftersom att båda variablerna är förenade med osäkerheter kan det uppkomma situationer då behovet är större än kapaciteten, dvs att $R < S$. Syftet med analysen är att bestämma denna sannolikhet, $P(R < S)$.

För detta arbete har det tagits fram metoder som kan bestämma denna sannolikhet. Metoderna kan delas upp i olika nivåer beroende på tillgången till det statistiska materialet (se kapitel 1.3). Finns mycket material tillgängligt kan variablernas fördelningar användas. Med mindre data tillgängligt kanske man får nöja sig med att kunna bestämma medelvärde och standardavvikelse. Utseendet på fördelningen kan då vara okänd.

En metod som använder sig av medelvärde och standardavvikelse är den sk First Order Second Moment (FOSM) metoden. Med First Order avses att metoden bygger på en första ordningens approximation av tillståndsekvationen. Second Moment innebär att bara de två första momenten, medelvärde och standardavvikelse används. Det är en analytisk metod som kan bestämma säkerhetsindex β om systemet kan bestämmas analytiskt. Med analytisk bestämning menas att en ekvation kan beskriva förhållandena utan att behöva bli kopplad till datorprogram eller andra datakällor. När fel eller brott inträffas dvs när $G = 0$ inträffar gränstillståndet. Ekvation kallas då för gränstillståndsekvationen. ibland används även begreppet gränstillståndsekvation för den generella beteckningen för ekvationen G.

Hasofer och Lind, Hasofer mfl (1974), har visat att ett bra sätt att beskriva säkerhetsindex β är att betrakta gränstillståndsekvationen i en standardiserad rymd. Den standardiserade rymden avviker från den verkliga eftersom den normaliseras med avseende på de ingående variablernas medelvärde och standardavvikelse. Det betyder att i den standardiserade rymden har alla variabler medelvärde 0 och standardavvikelse 1. Gränstillståndsekvationen förändras dock inte vilket är av betydelse för metodens framgång. Om gränstillståndsekvationen ritas in i ett diagram baserat på standardiserade variabler kan man hitta säkerhetsindex β som det kortaste avståndet från origo till kurvan, se Figur 3.



Figur 3 Säkerhetsindex β och gränstillståndsekvationen i den standardiserade rymden.

Standardiserade variabler erhålls med följande omräkning

$$X' = \frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \qquad \textit{Ekv 2}$$

Den föreslagna metoden bygger på att hitta den punkt på gränstillståndsekvationen som ger kortaste avståndet till origo. Det sker numeriskt genom en optimeringsmetod.

En annan väsentlig fördel med FOSM-metoden är att den genererar den så kallade designpunkten, x_i^*. Designpunkten ligger på kurvan för gränstillståndsekvationen där avståndet till origo är så kort som möjligt, se figur 1. Används värdena i designpunkten i en designekvation erhålla automatiskt tillförlitligheten avspeglad i β. Detta faktum är grunden till att kunna ta fram dimensioneringsvärden som är innebörden av resultatet från projektet.

Det är inte stor idé att enbart kunna bestämma säkerhetsindex för olika byggnader. Det är en alltför omständlig procedur. Lösningen ligger istället i att utifrån ett givet värde på β bestämma dimensioneringsvärden så att om dessa används leder det till att en given risk erhållas. Dessa dimensioneringsvärden skall dessutom vara giltiga för en hel grupp av byggnader till exempel samlingslokaler med talat utrymningslarm, och sprinkler.

Det innebär att dimensioneringsvärdena tas fram för en grupp av liknande byggnader och att risknivån inom gruppen bör vara så jämn som möjlig. Det är inte möjligt att exakt få samma risk i alla byggnader inom gruppen men avvikelsen till den specificerade risken skall minimeras.

3.2.1 Optimeringsalgoritm

För att kunna ta fram dimensioneringsvärden för en grupp av byggnader måste gruppen definieras. I denna rapport används samlingslokaler som tillämpningsområde. I denna lokaltyp görs indelningen i grupper utifrån de scenarier som beskrivs i kapitel 4.1.2. Gruppen beskrivs sedan i form av några beräkningsfall som utgör definitionen på gruppen eller scenariot. Beräkningsfallen kan skilja sig genom att de har olika golvareor och rumshöjder.

För att kunna använda metoden måste systemet kunna beskrivas i form av ett analytiskt uttryck. Det innebär att det skall gå att bestämma säkerhetsindex β för uttrycket. Dessutom måste de så kallade designvariablerna ingå explicit. En designvariabel kan vara erforderlig dörrbredd. Det är alltså den variabel som en ingenjör är intresserad av att beräkna.

Beräkningsvillkoret är alltså att hitta en uppsättning värden (dimensioneringsvärden) som passar till alla beräkningsfallen och som uppfyller kravet $P(G(X) < 0) < p_{mål}$. Uttryckt i form av säkerhetsindex är målsättningen att minimera följande uttryck, den så kallade objektfunktionen

$$\sum_i (\beta_i(x_i^*) - \beta_{mål})^2 \qquad \textit{Ekv 3}$$

där x_i^* anger dimensioneringsvärdena. Det gäller då att hitta en uppsättning dimensioneringsvärden som när de används i alla beräkningsfallen i scenariot leder till individuella säkerhetsindex som avviker så lite som möjligt från det specificerade $\beta_{mål}$. Optimeringen utförs numeriskt med hjälp av rutiner skrivna för MATLAB. I Frantzich (1998) beskrivs metoden mer utförligt.

Dimensioneringsekvationen som sedan skall användas vid projektering kan exempelvis skrivas som

$$B = f(Area, Höjd, Persontäthet) \qquad \textit{Ekv 4}$$

Denna ekvation är för de flesta fall bara en omskrivning av gränstillståndsekvationen. När denna är definierad kan följande algoritm användas för att bestämma de dimensionerande värdena

1. Välj utgångsvärden på dimensioneringsvärdena.
2. Lös ut B för alla beräkningsfallen med dimensioneringsekvationen.
3. Beräkna β för alla beräkningsfallen.
4. Beräkna kvadratsumman av avvikelserna.
5. Använd en optimeringsmetodik som logiskt väljer bättre uppskattningar av dimensioneringsvärdena.
6. När avvikelsen i kvadratsumman är tillräckligt liten erhålls dimensioneringsvärdena.

När väl dimensioneringsvärdena är bestämda kan partialkoefficienter räknas fram om samtidigt så kallade karakteristiska värden specificeras som

$$\gamma_i = \frac{x_{i,d}}{x_{i,k}} \qquad \textit{Ekv 5}$$

De karakteristiska värdena kan väljas som en fraktion av variablerna och Thoft-Christensen och Baker (1982) beskriver hur dessa kan väljas.

3.3 Kopplingen till brandteknisk dimensionering

3.3.1 Gränstillstånd

Beräkningarna i denna rapport gäller för utrymningssäkerhet. Det innebär att dimensioneringsekvationer bara tar hänsyn till att personer på ett säkert sätt skall kunna utrymma i händelse av brand. Andra gränstillstånd t ex för bärverk eller räddningstjänstens säkerhet ingår inte som förutsättning. Det kan dock visa sig att även andra gränstillstånd automatiskt blir tillgodosedda men det är ingen förutsättning för beräkningarna.

Ekvationen för säkerhetsmarginalen för utrymning beskrivs som

$$G(t) = t_u - t_{det} - t_R - t_e \qquad \textit{Ekv 6}$$

där

t_u = tillgänglig utrymningstid
t_{det} = tid tills detektion av branden sker
t_R = personers reaktionstid
t_e = evakueringstid för lokalen

Dessa tider är i sin tur funktioner av andra variabler som kan vara antingen konstanter eller primära variabler. De primära variablerna är stokastiska variabler som inte kan ges ett entydigt värde. Slumpmässigheten beskrivs oftast med hjälp av variabelns statistiska fördelning.

3.3.2 Val av kritiska förhållanden

För att kunna bestämma den tillgängliga tiden för utrymning måste ett kriterium väljas som anger när denna tid har förflutit. Det traditionella inom utrymningsdimensionering är att välja de kritiska förhållandena enligt BBR94. När dessa förhållanden inträffar kan man anse att utrymningsvägarna inte längre är möjliga att använda. Dessa kritiska förhållanden används i

arbetet i rapporten, tillsammans med andra som är något justerade. Man kan också tänka sig andra val av kriterium till exempel när dödliga förhållanden inträffar. Det är det vanliga gränstillståndet för riskanalyser. I rapporten genomförs en känslighetsanalys på hur valet av kritiska förhållanden påverkar dimensioneringen, se kapitel 4.3.1

3.3.3 Responsytor

För att beräkna den tillgängliga utrymningstiden, t_u, kan ett datorprogram användas. Vanligen används CFAST (Peacock m fl, 1994) från NIST i USA. Programmet kan ge svar på hur lagret av brandgaser i rummet sjunker allteftersom branden fortskrider. Även andra parametrar kan erhållas som temperatur i brandgaserna och strålningsnivåer mot golvet.

Detta program är utmärkt om man skall beräkna en tillgänglig tid för utrymning. Problemet med arbetet i denna rapport är att tiden måste kunna beräknas ett flertal gånger under optimeringen och dessutom automatiskt. CFAST är inte utvecklat för detta. Dessutom bör gränstillståndsekvationen utgöras av ett analytiskt uttryck.

För att uppnå detta krävs det att datorprogrammen ersätts av analytiska ekvationer som beskriver den tillgängliga tiden för utrymning. Dessa ekvationer skall också enbart vara funktioner av några få ingående variabler, de primära variablerna. Alla andra indata till en beräkning med CFAST är konstanta. För tillgänglig utrymningstid är den enda primära variabeln brandförloppets tillväxthastighet, α. Det som skall göras är att beräkna tillgänglig utrymningstid för ett antal olika värden på α och sedan hitta ett analytiskt uttryck som kan anpassa t_u som en funktion av α. Det görs med hjälp av enkel regressionsanalys och resultatet kallas ofta för en responsyta.

Den enklaste formen av regressionsanalys är att anpassa data till en rät linje, linjär regression. Nu är ju inte de flesta ekvationerna linjära utan i många fall kraftigt olinjära. För att ändå komma vidare har det visat sig vara lämpligt att logaritmera värdena. Dessa logaritmerade värden uppvisare ett förhållandevis linjärt beroende. Regressionsekvationen kan då erhållas ur följande samband

$$t_u = e^{(m+k\ln(\alpha))} \Rightarrow t_u = e^m e^{\ln(\alpha^k)} \Rightarrow t_u = konst\ \alpha^k \qquad \textit{Ekv 7}$$

Fler variabler än α kan användas för att beskriva den tillgängliga tiden, se Ekvation 8. Arbetet med att ta fram koefficienterna m och k i det linjära sambandet sker i ett kalkylprogram. Eftersom dessa parametrar är uppskattningar och anpassar en linje till data kommer det att finnas lite avvikelser mellan linjen och datapunkterna. Anpassningen är inte total. Det innebär att ytterligare osäkerheter introduceras. Parametrarna m och k är egentligen osäkra variabler och inte konstanta värden. Det skall dock sägas att denna osäkerhet är liten i förhållande till de övriga osäkerheterna i till exempel α. Dessa nya osäkerheter kan därför försummas.

4 Tillämpningsexempel – utrymning av varuhus

Arbetet med att ta fram dimensionerande värden och tillhörande ekvationer begränsas i denna rapport till byggnadstypen samlingslokaler. Till denna kategori räknas de lokaler som enligt BBR94 definieras som samlingslokal. Dessutom kommer även mindre lokaler med i stort sett samma verksamhet att tillhöra den undersökta gruppen.

Byggnadstypen representeras av ett studieobjekt – varuhus. För detta objekt kommer ett antal scenarier att definieras. Dessa scenarier skiljer sig från varandra genom till exempel närvaron av ett automatiskt brandlarm och olika former av utrymningslarm.

Till varje scenario kommer ett antal beräkningsfall att tas fram. Det som skiljer beräkningsfallen ifrån varandra är främst lokalarea, höjd och antal personer som vistas i lokalen. Det är beräkningsfallen som kommer att utgöra grunden för optimeringsarbetet som beskrivs i kapitel 3.2.1. För varje beräkningsfall kommer dessutom tiden till kritiska förhållanden och eventuell detekteringstid för automatiskt brandlarm att bestämmas för att möjliggöra skapandet av regressionsekvationer.

4.1 Förenklad brandskyddsgenomgång

Den metoden för riskbaserad dimensionering genom beräkning som presenteras av Becker (1999) omfattar tre olika steg; brandskyddsgenomgång, riskanalys och riskvärdering. Målet med en brandskyddsgenomgång är att på ett systematiserat vis klarlägga information som rör den planerade byggnadens brandsäkerhet. Brandskyddsgenomgången omfattar:

- Genomgång av utförande
- Karakterisering av objekt
- Mål för brandskydd
- Acceptanskriterium
- Brandscenarier
- Kritisk påverkan vid utrymning
- Brandskydd
- Utrymningsstrategi

Här genomförs endast en förenklad brandskyddsgenomgång som syftar till att ta fram nödvändig information för den kommande analysen.

4.1.1 Brandskydd i varuhus

Brandskydd i varuhus styrs av de regler som gäller för samlingslokaler. Det innebär att krav ställs på bland annat utrymningslarm, vägledande markering och nödbelysning. Rekommendationer på minsta dörrbredd och maximal längd till utrymningsväg finns beskrivna i BBR (1998). Något krav på automatiskt brandlarm eller automatiskt släcksystem finns inte. En nackdel med denna lokaltyp ur brandsynpunkt är att lokalerna ofta är mycket stora och svåra att ha en generell uppsikt över. Tiden till branduppträckt kan då förlängas. Det stora antalet hyllor och trånga passager i kombination med hängande produktskyltar kan medföra att utrymningsvägarna är svåra att lokalisera.

Statistik
I statistik från Räddningsverket (1998) redovisas startutrymme, startföremål och brandorsak för bränder som kan relateras till handeln. Vanliga brandorsaker är främst:

- Barns lek med eld
- Tekniskt fel
- Värmeöverföring
- Glömd spis

Bränder startar oftast i elinstallationer, lamparmaturer, spisar och på byggnadens utsida. Startutrymmen är vanligen garage, utomhus, produktion- och försäljningslokal samt personallokaler.

Acceptabel risk
För att bestämma vilken risk som initialt skall anses vara acceptabel studeras den handelsrelaterade statistiken från Räddningsverket (1998). Studien gav följande resultat:

- Sannolikheten att en eller flera blir lindrigt skadade i en brand i handeln är 2.4 %
- Sannolikheten att en eller flera blir lindrigt skadade i brand i hela landet är 4.9 %

Denna statistik baseras på samtliga bränder i byggnadskategorin handel och gäller givet att brand inträffar. Brandfrekvensen är alltså exkluderad från ovanstående resultat. Målet med analysen är dock att studera utrymningssäkerheten i varuhus (lådformade) strukturer. Den risk som skall beräknas måste relateras till människorna som vistas i själva varuhusets handelsutrymmen. Det mål-β som används i rapporten måste baseras på den sannolikheten för personskada givet en brand som är tillräckligt stark för att skapa kritiska förhållanden. Johansson (1999) har analyserat osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering. I den analysen framgår bland annat att handelsrelaterade bränder självslocknar eller släcks av personalen med en sannolikhet på cirka 50 %.

Under 1996 inträffade det 39 bränder i försäljningslokaler och vid tre tillfällen kom en eller flera människor till skada. Felsannolikheten beräknas till 3/(39*0.50) = 15 %. Mål-β beräknas till 1.04, vilket initialt används i analysen.

4.1.2 Beskrivning av förutsättningar

Varuhuset består av ett stort rum. I detta finns det inredning i form av varuställ i längsgående ledd. Brand uppstår inne i varuhuset i till exempel några av de varor som finns där. Brandorsaken kan vara anlagd brand (se kapitel 4.1.1). Detta är visserligen av mindre intresse eftersom behovet av utrymningsvägar skall vara tillgodosett vid tillfället för branden.

Scenarierna för varuhus bör innehålla skillnader i typ av utrymningslarm och den eventuella närvaron av sprinkler och automatiskt brandlarm. Det förutsätts att lokalen är försedd med utrymningslarm men att typen av information som ges kan variera. Det är krav på utrymningslarm i varuhuset enligt reglerna i BBR (Boverket, 1999). Sammanfattningsvis leder detta till 8 olika scenarier för varuhuset, Tabell 2.

Tabell 2 Beskrivning av scenarier för varuhus

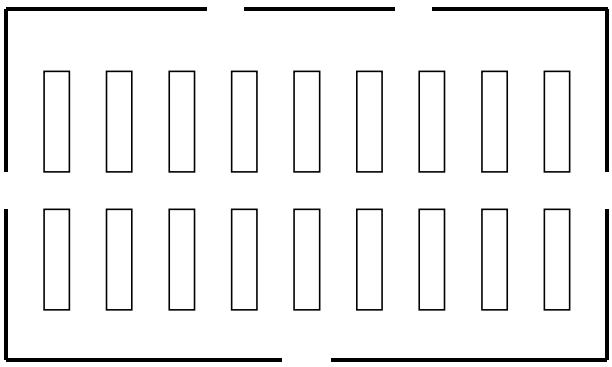
Scenario	Utr larm	Aut br larm	Sprinkler
1	Tal	Ja	Ja
2	Tal	Ja	Nej
3	Tal	Nej	Ja
4	Tal	Nej	Nej
5	Ring	Ja	Ja
6	Ring	Ja	Nej
7	Ring	Nej	Ja
8	Ring	Nej	Nej

Varje scenario kommer att resultera i en dimensioneringsekvation som baseras på kvantifierad risk. Indata till denna ekvation skall vara varuhusets nettoarea samt rumshöjd. Ekvationen förutsätter att rådande persontäthet är 0.5 personer/m^2 eftersom det är rekommenderad täthet enligt BBR94.

Som resultat från dimensioneringsekvationen erhålls den minsta erforderliga bredden på utrymningsvägen. Varje scenario definieras i form av variabler som ingår i gränstillståndsekvationen. Det innebär att för varje scenario måste en mängd variabler specificeras och deras inbördes förhållande anges.

Varuhuset

Vi antar att varuhuset har ett ganska enkelt utseende, se figuren. Det är försett med en normal in och utgång samt nödutgångar jämnt fördelade i periferin. Hyllsektionerna, i Figur 4 markerade som rektanglar, är 1,5 x 5 m^2 stora. Gångarna mellan hyllorna är 1,5 m breda.



Figur 4 Principiell skiss över varuhusets utformning

Efter ett antal simuleringar av utrymningsförloppet framkom det att det enda som egentligen påverkar tiden att evakuera varuhuset är bredden på de dörrar som ingår. Bredden på gångarna spelar alltså mindre roll.

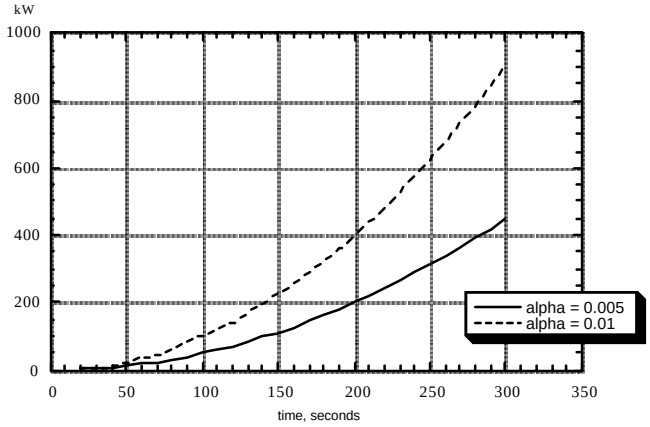
För att komma ifrån problemet med att definiera antalet personer som använder den normala utgången har följande angreppssätt använts. Antag att i varuhus så utformas alltid den normala utgången på ett för kunderna gynnsamt sätt. Det innebär att denna utgången i princip alltid kommer att vara tillgänglig. Problemen att dimensionera utrymningsvägarna kan därför begränsas till att betrakta de övriga utrymningsvägarna. En hypotes kan då vara att vi antar att den normala utgången, det vill säga att den genom kassor och liknande är blockerad av branden. Då skall alla personer i byggnaden kunna utrymma genom de övriga. Ingen skall bli kvar i byggnaden även om

den breda normala utgången blockeras. Det innebär att det vi dimensionerar för är kravet i de gamla nybyggnadsreglerna på 1 m dörrbredd per 300 personer om en utgång blockeras. Då skall alla personerna utrymma genom övriga utgångar.

Nästa fråga som är intressant är; hur skall den beräknade utrymningsbredden fördelas? Enklast är att säga att dörrarna skall vara 1.2 m breda. Då vet vi antalet. Sedan skall de vara placerade så att de inte blir blockerade av en och samma brand. Det vill säga även vägen till en utrymningsväg skall vara i viss mån oberoende av andra vägar till utgångar. En olycka skall inte blockera flera utrymningsvägar.

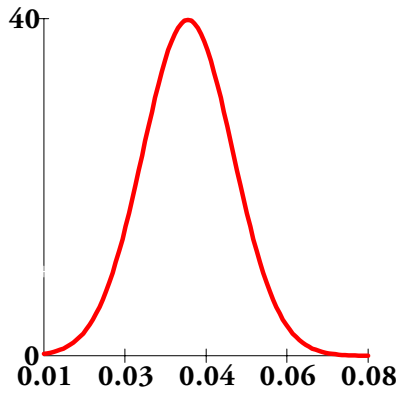
Brandförloppet

För att kunna bestämma tiden till kritiska förhållande måste brandförloppet kunna specificeras. Tiden till kritiska förhållanden anger hur lång tid som finns att tillgå för utrymning när en brand inträffat. Det antas att brandförloppet kan beskrivas med en konstant växande utvecklad värmemängd. Brandförloppet definieras som en så kallad αt^2-brand där tillväxttakten bestäms av faktorn α. Detta är ett sätt att specificera brandförloppet används världen över vid brandteknisk dimensionering. Det finns heller inte många andra sätt att representera brandförloppet i ett varuhus så detta får duga tills vidare. Figur 5 visar schematiskt ett tänkt brandförlopp enligt den föreslagna modellen.



Figur 5 Brandförlopp enligt αt^2 -modellen.

Brandförloppets α-variabel är en primär variabel för vilken variationsområdet måste definieras. Det innebär att olika brandförlopp realiseras men med olika sannolikheter. Det kan vara rimligt att anta att en genomsnittlig brand utvecklas relativt långsamt. Ett första antagande kan vara att medelbranden växer till ca 1.0 MW på cirka 150 sekunder. Det medför att α-värdet blir ca 0.04 kW/s^2. För att beskriva spridningen på variabeln används standardavvikelsen. För att inte få för stor sannolikhet för negativa värden väljs ett relativt snävt variationsintervall. Standardavvikelsen för α väljs till 0.01 kW/s^2 i inledningsskedet. Om det kan antas att α är normalfördelad kan variabeln illustreras enligt Figur 6.



Figur 6 Normalfördelad α *enligt antagandet i texten.*

Den tillgängliga tiden för utrymning bestäms genom regressionsanalys av beräknade värden för ett antal förutsättningar för variablerna α, lokalarea och rumshöjd. Dessa förutsättningar för variablernas värden utgörs av beräkningsfallen eventuellt kompletterade med några extra beräkningar. Osäkerheten i regressionsekvationen minskar med ökande antal beräkningar. Den tillgängliga tiden för utrymning har följande generella utseende

$$t_u = C_1 \alpha^{C2} Area^{C3} Höjd^{C4} \qquad \textit{Ekv 8}$$

där konstanterna C_1 - C_4 utgör resultat från regressionsanalysen.

Detektion av branden

På ett varuhus kan man anta att branden relativt snart upptäcks av antingen ett automatiskt brandlarm, personal eller av kunder i lokalen. Detta gäller speciellt om lokalen är projekterad som ett enda rum. För de fall då ett automatiskt brandlarm finns installerat i lokalen kommer detta med stor sannolikhet att upptäcka branden först. Det förutsätts att lokalen då är försedd med rökdetektorer av hög kvalitet och att anläggningen sköts enligt underhållsplanen. För dessa fall kan detektionstiden bestämmas genom regressionsanalys av en mängd beräknade värden och vara en funktion av lokalens takhöjd och värdet på α. Det generella utseendet för tiden för brandens detektering är

$$t_{det} = C_5 \alpha^{C6} Höjd^{C7} \qquad \textit{Ekv 9}$$

där konstanterna C_5 - C_7 är resultat från regressionsanalysen. För de fall sprinkler finns installerat kan det antas att branden detekteras vid sprinkleraktivering.

För det fall då inget automatiskt system finns för att upptäcka branden måste det ske manuellt. Det är då rimligt att anta att detektionstiden beror på hur mycket personer det finns i lokalen, dvs på persontätheten. Det finns inga entydigt bestämda värden för detektionstid utan t_{det} antas vara en primär variabel som skall beskrivas med ett diskret värde. För att tillgodose kravet på beroendet av persontätheten görs följande antagande. Om persontätheten är 0.5 personer/m^2 antas detektionstiden vara 150 sekunder i medeltal. Antagande kommer ur Ekv 10.

$$\overline{t_{\det}} = 250 - 200N \qquad \textit{Ekv 10}$$

Reaktionstid

Denna komponent i gränstillståndsekvationen beskriver den tid som förflyter från det att en person uppmärksammas på branden och tills personen börjar gå mot utgången. Detta enkla sätt att beskriva en komplicerad utrymningsprocess har använts i andra sammanhang och får anses

vara etablerad. Eftersom tiden helt baseras på mänskliga ageranden är variabeln i sig en primär variabel. Det kan dock antas att den kan variera med lokalens storlek så att personer i små lokaler faktiskt reagerar snabbare eftersom de också kan se en brand jämfört med personer i större lokaler. Relationen saknar dock vetenskapliga bevis. Antagandet är dock inte orimligt och en modell kan ha följande utseende

$$t_R = R_0 + \delta \cdot Area \qquad \textit{Ekv 11}$$

Värdena för δ och R_0 bör rimligen avspeglas i val av scenario och bero på om utrymningslarmet är ringklocka eller talat meddelande, Tabell 3.

Tabell 3 Parametrar för bestämning av reaktionstid.

Utrymningslarm	δ	R_0
Talat meddelande	0.025	45-75
Ringklocka	0.05	50-90

Exempel på reaktionstider för olika lokaler kan ses i Tabell 4.

Tabell 4 Exempel på reaktionstider.

Utrymningslarm	*Area* = 600 m^2	*Area* = 1800 m^2
Talat meddelande	60 - 90 sek	90 - 120 sek
Ringklocka	80 - 120 sek	140 - 180 sek

Evakueringstid

I evakueringstiden måste dörrbredden B ingå explicit. Detta eftersom dörrbredden är den variabel som skall räknas fram när väl dimensioneringsekvationen skall användas. Ett första antagande om evakueringstiden kan vara att använda följande enkla samband

$$t_e = \frac{N \cdot Area}{F_s \cdot B} \qquad \textit{Ekv 12}$$

Detta bestämmer i princip tiden det tar för en grupp personer att passera en dörröppning. Vanligen ligger värdet för F_s kring 1-1.5 personer per sekund och meter dörrbredd. För att fastställa denna parameter så bra som möjligt används tillgänglig litteratur samt beräkningar med datorprogrammet SIMULEX. Parametern N väljs primärt konstant till 0.5 personer/m^2.

Beräkningsfall

Uppdelningen i beräkningsfall för varje scenario sker med samma värden för golvarea och rumshöjd. Det innebär att varje scenario delas upp i nio beräkningsfall med följande val av *Area* och *Höjd*. Dess utgör förutsättningarna för optimeringsmetoden presenterad i kapitel 3.2.

Tabell 5 Beskrivning av beräkningsfall

Area/m^2	*Höjd*/m
600	4
1000	5
1500	6

4.1.3 Regressionsuttryck

Ett antal regressionsekvationer tas fram för att utgöra grunden för osäkerhetsanalysen. Eftersom inverkan av främst α innebär att en direktkoppling av relevanta datorprogram till optimeringsmetoden inte låter sig göras tas omvägen via regressionsekvationer. Det underlättar högst avsevärt om gränstillståndsekvationen kan beskrivas i form av ett analytiskt uttryck. Därför

kommer ett antal beräkningar med olika värden på α, *Area* och *Höjd* att göras med CFAST för att fastställa ekvationen för t_u. På samma sätt kommer det automatiska detektionstiden att fastställas efter beräkning med Dertact-t2. De variabler som ändras då är α, och *Höjd*. Värdena väljs så att de täcker in aktuella intervall inom vilka de är definierade. Rimliga värden för α är preliminärt 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07 kW/s^2.

Brandförlopp – kritisk tid

Tre olika definitioner av kritiska förhållanden har använts;

1. Brandgasnivå lägst 1.6 + 0.1 · Lokalhöjden, Maximan strålning: 2.5 kW/m^2 och maximal temperatur under brandgasskiktet: 80°C.
2. Brandgasnivå lägst 1.5 m om brandgastemperauren är högre än 100°C annars maximal brandgastemperatur 100°C
3. Minsta siktsträcka: 10 m

Efter regressionsanalys kan ekvationer för scenarierna 2, 4, 6 och 8 bestämmas under förutsättning att branden beskrivs med hjälp av den enkla modellen αt^2. Variabeln α beskriver brandens tillväxthastighet och utgör en av de osäkra variablerna. Datorprogrammet CFAST 2.2 används för att beräkna tiden tills de två första kriterierna är uppfyllda för en mängd delscenarier vilka varierar med avseende på golvarea, rumshöjd och brandtillväxthastighet. Med hjälp av regressionsanalys erhålls empiriska uttryck för hur tiden till kritiska förhållanden varierar med dessa tre variabler. Detta leder fram till två ekvationer. För det sista kriteriet används inget datorprogram utan tiden till kritiska förhållanden baseras på ett enkelt samband mellan den rök som produceras och lokalens storlek. Det förutsätts att röken sprider sig jämnt i lokalen och att sikten kan beskrivas med en enkel variabel, rökpotentialen. Detta uttryck erhålls därför utan omfattande analyser med datorprogram och regressionsanalys.

Ekvationerna som beskriver tiden till kritiska förhållanden, i sekunder, är för de tre kriterierna;

$$t_{krit,1} = 3.07\alpha^{-0.29} H^{0.27} A^{0.48} \qquad \textit{Ekv 13}$$

$$t_{krit,2} = 4.05\alpha^{-0.31} H^{0.27} A^{0.45} \qquad \textit{Ekv 14}$$

$$t_{krit,3} = \sqrt[3]{\frac{3DV\ \Delta H_c}{D_o \alpha}} \qquad \textit{Ekv 15}$$

Tabell 6 Beskrivning av ingående variabler

Variabel	Betydelse
α	Brandtillväxtfaktor, kW/s^2
H	Rumshöjd, m
A	Golvarea, m^2
D	Kritisk röktäthet = 1 obsc
V	Lokalens volym, m^3
ΔH_c	Effektivt förbränningsentalpi, 20 MJ/kg
D_0	Rökpotential, 0.4 obsc m^3/g

Överensstämmelsen mellan beräknade datapunkter och regressionslinje för fall 1 och 2 är mycket god. Ekvationerna gäller för α-värden mellan 0.01 kW/s^2 och 0.07 kW/s^2.

En fördjupad analys för att avgöra huruvida CFAST:s zonmodell kan tillämpas för den aktuella byggnadstypen genomfördes. I analysen studerades brandplymens stigkraft och takplymens utbredning. För att fastställa om det blir en tvåzonsskiktning antas att det måste existera en temperaturskillad på minst 10 °C mellan plymen och omgivande luft. Resultatet visar att tvåzonsskiktning kommer att bildas för samtliga area/höjdkonfigurationer och tillväxthastigheter. För de fall med sämst förutsättningar (låg tillväxthastighet och stor lokal) krävs att branden får pågå i 60-90 s innan tvåzonsskiktningen stabiliseras.

Detektionstid

Varuhuset är i vissa fall försett med ett automatiskt brandlarm med rökdetektorer som reagerar på branden. I de fall ett automatiskt brandlarm finns installerat kan detektionstiden bestämmas med hjälp av beräkning. Tiden kan beräknas med hjälp av programmet Detact-t2. Detta program förenklar situationen på så sätt att taket förutsätts vara helt horisontellt och utan anslutande väggar. Felet i uppskattningen av detektionstiden kan dock vara stort om det under taket finns mycket hinder som försvårar för röken att nå detektorn. Detta problem bör beaktas vid den slutliga beräkningen. I detta första fall blir detektionstiden en funktion av brandtillväxthastigheten α. För de fall då inget larm finns installerat måste branden upptäckas manuellt av person på platsen. I detta fall blir detektionstiden en stokastisk variabel.

Detektionstiden kan bestämmas som;

$$t_{det,1} = 21.8\alpha^{-0.31}H^{0.34} \qquad \textit{Ekv 16}$$

för fallet med automatiskt brandlarm och som

$$\overline{t_{det,2}} = 250 - 200N \qquad \textit{Ekv 17}$$

för fallet där branden detekteras manuellt. Variabeln N anger persontätheten i varuhuset vilken initialt tilldelas det diskreta värdet 0.5 personer/m^2.

Reaktionstid

Efter det att personerna i byggnaden uppmärksammats på att det brinner dröjer det ofta en tid innan själva förflyttningen påbörjas. Denna tid beskrivs som reaktionstid, t_r, och utgör en av de stokastiska variablerna. Det är rimligt att anta att reaktionstiden påverkas av avståndet till branden då den kan tyckas mindre hotfull längre bort från branden. Av denna anledningen bestäms reaktionstiden enligt följande ekvation:

$$t_r = R_0 + \delta \cdot A \qquad \textit{Ekv 18}$$

Där R_0 är en minsta reaktionstid och δ utgör en linjär förskjutning av R_0 orsakad av beroendet av arean. Variablerna bestäms enligt följande tabell

Utrymningslarm	δ	R_0
Talat meddelande	0.025	N(60,20)
Ringklocka	0.05	N(70,30)

Det innebär att talat utrymningsmeddelande ges en mer gynnsam bedömning jämfört med ringklocka eller siren, som kan ha motsvarande effekt, på möjligheten till en snabb utrymning.

Evakuering

Det förutsätts att utrymningsvägarna i lokalen är bra fördelade längs lokalens perimeter. I annat fall kan inte nedanstående ekvation gälla.

Efter några inledande beräkningar på utrymningstider och flöden genom dörrar kan ett specifikt flöde på F_S = 1.3 personer/s m användas i ekvationen nedan.

$$t_e = \frac{N \cdot A}{F_s \cdot B} \qquad \textit{Ekv 19}$$

Där B anger den totala dörrbredden för utrymningsvägarna. Det specifika flödet gäller primärt för dörrar som är 1.2 m breda. Dörrar med annan bredd kan säkert användas men det kan inte verifieras i SIMULEX eftersom kapaciteten, F_S, ökar med minskande bredd. Detta har dock inte verifierats med experiment. Värdet 1.3 personer per meter dörrbredd och sekund ligger väl inom det verifierade området.

4.1.4 Stokastiska variabler

Två stokastiska variabler finns angivna;

- brandtillväxthastigheten, α
- reaktionstid, R_0

Tabell 7 Definitionen av de stokastiska variablerna.

Variabel	M	s	enhet
α	0.04	0.01	kW/s^2
$R_{0,tal}$	60	20	s
$R_{0,ring}$	70	30	s

4.2 Framtagning av dimensioneringsekvationer

Optimeringen för att ta fram dimensioneringsvärden utförs i MATLAB. Beräkningarna genomförs inledningsvis under följande förutsättningar.

- BBR:s definition på kritiska förhållanden används
- Mål-β är 1.04, vilket motsvaras P(fel) = 15 %
- Manuell detektionstid tilldelas ett diskret värde, 150 s
- Persontätheten tilldelas det i BBR dimensionerande värdet på 0.5 personer / m^2

Dimensionerande dörrbredd beräknas genom att lösa ut B ur ekvationen för säkerhetsmarginalen (Ekv 6). Dörrbredden blir för scenario 2 lika med

$$B = \left(\frac{N \cdot A}{f}\right) \cdot \left(\frac{1}{3.07 \cdot \alpha^{-0.29} \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 21.8 \cdot \alpha^{-0.31} \cdot H^{0.34} - (R + 0.025 \cdot A)}\right) \qquad \textit{Ekv 20}$$

för scenario 4 lika med

$$B = \left(\frac{N \cdot A}{f}\right) \cdot \left(\frac{1}{3.07 \cdot \alpha^{-0.29} \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 150 - (R + 0.025 \cdot A)}\right) \qquad \textit{Ekv 21}$$

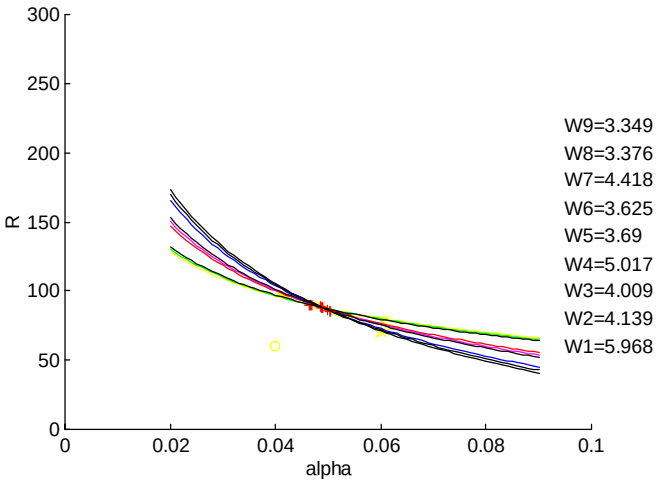
för scenario 6 lika med

$$B = \left(\frac{N \cdot A}{f}\right) \cdot \left(\frac{1}{3.07 \cdot \alpha^{-0.29} \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 21.8 \cdot \alpha^{-0.31} \cdot H^{0.34} - (R + 0.05 \cdot A)}\right) \quad \textit{Ekv 22}$$

och för scenario 8 lika med

$$B = \left(\frac{N \cdot A}{f}\right) \cdot \left(\frac{1}{3.07 \cdot \alpha^{-0.29} \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 150 - (R + 0.05 \cdot A)}\right) \quad \textit{Ekv 23}$$

Exempel på utdata från MATLAB-optimeringen illustreras i Figur 7 nedan



Figur 7 *Utdata från MATLAB-optimeringen. Konstanterna W1-W9 representerar beräknad dörrbredd för de olika beräkningsfallen där W1 är H = 4 m, A = 600 m² och W9 är H = 6 m och A = 1500 m². Cirkeln nedanför kurvorna utgör origo i den standardiserade rymden.*

Nedan redovisas dimensioneringsvärden för respektive scenario. avvikelsen mellan den gemensamma designpunkten och respektive beräkningsfall redovisas i form av standardavvikelsen.

4.2.1 Resultat

<u>Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm</u>

$\beta_{mål}$	β_{min}	Designpunkt (α, R)	Standardavvikelse (α, R)
1.04	1.03	0.0457, 77.53	0.001, 1.354

Dimensioneringsekvationen får då följande utseende:

$$B = 0.385 \cdot A \cdot \left(\frac{1}{7.51 \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 56.74 \cdot H^{0.34} - 77.53 - 0.025 \cdot A)}\right) \quad \textit{Ekv 24}$$

Dimensionerande dörrbredd för respektive beräkningsfall redovisas nedan

Fall	Höjd	Area	Dörrbredd
1	4 m	600 m^2	4.4 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m

Scenario 4 – talat utrymningsmeddelande

$\beta_{mål}$	β_{min}	Designpunkt (α, R)	Standardavvikelse (α, R)
1.04	1.04	0.0472, 75.17	0.0007, 1.262

Dimensioneringsekvationen får då följande utseende:

$$B = 0.385 \cdot A \cdot \left(\frac{1}{7.91 \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 225.17 - 0.025 \cdot A)} \right) \qquad \textit{Ekv 25}$$

Dimensionerande dörrbredd för respektive beräkningsfall redovisas nedan

Fall	Höjd	Area	Dörrbredd
1	4 m	600 m^2	-
2	5 m	600 m^2	30.4 m
3	6 m	600 m^2	11.5 m
4	4 m	1000 m^2	8.0 m
5	5 m	1000 m^2	5.8 m
6	6 m	1000 m^2	4.7 m
7	4 m	1500 m^2	5.8 m
8	5 m	1500 m^2	4.7 m
9	6 m	1500 m^2	4.1 m

Scenario 6 – utrymningslarm och automatiskt brandlarm

$\beta_{mål}$	β_{min}	Designpunkt (α, R)	Standardavvikelse (α, R)
1.04	1.04	0.0444, 98.48	0.0009, 1.291

Dimensioneringsekvationen får då följande utseende:

$$B = 0.385 \cdot A \cdot \left(\frac{1}{7.58 \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 57.25 \cdot H^{0.34} - 98.48 - 0.05 \cdot A)} \right) \qquad \textit{Ekv 26}$$

Dimensionerande dörrbredd för respektive beräkningsfall redovisas nedan

Fall	Höjd	Area	Dörrbredd
1	4 m	600 m^2	13.4 m
2	5 m	600 m^2	9.3 m
3	6 m	600 m^2	7.4 m
4	4 m	1000 m^2	6.1 m
5	5 m	1000 m^2	5.1 m
6	6 m	1000 m^2	4.5 m
7	4 m	1500 m^2	5.6 m
8	5 m	1500 m^2	4.8 m
9	6 m	1500 m^2	4.4 m

Scenario 8 – utrymningslarm

$\beta_{mål}$	β_{min}	Designpunkt (α, R)	Standardavvikelse (α, R)
1.04	1.04	0.0458, 96.010	0.0007, 1.391

Dimensioneringsekvationen får då följande utseende:

$$B = 0.385 \cdot A \cdot \left(\frac{1}{7.51 \cdot H^{0.27} \cdot A^{0.48} - 246.01 - 0.05 \cdot A)} \right) \qquad \textit{Ekv 27}$$

Dimensionerande dörrbredd för respektive beräkningsfall redovisas nedan

Fall	Höjd	Area	Dörrbredd
1	4 m	600 m^2	-
2	5 m	600 m^2	-
3	6 m	600 m^2	-
4	4 m	1000 m^2	83.3 m
5	5 m	1000 m^2	16.5 m
6	6 m	1000 m^2	9.8 m
7	4 m	1500 m^2	13.1 m
8	5 m	1500 m^2	8.6 m
9	6 m	1500 m^2	6.7 m

4.2.2 Giltighetsområde

Ekvationerna som presenteras i kapitel 4.2.1 är endast giltiga under följande förutsättningar och antagande:

- Brandtillväxthastighet mellan 0.01-0.07 kW/s^2
- Golvarea mellan 600-1500 m^2
- Takhöjd mellan 4-6 m
- För scenario 4 (talat utrymningsmeddelande) är ekvationen inte giltig för förhållande som representeras av fall 1-fall 2.
- För scenario (utrymningslarm) är ekvationen inte giltig för förhållande som representeras av fall 1-fall 4.
- Ekvationerna är baserade på en risknivå där sannolikheten för personskada givet en kraftig brand är 15 %. Önskas annan nivå på säkerheten kan inte ekvationerna användas.
- Dimensionerade persontäthet är 0.5 person/m^2. Om denna överskrids är ekvationerna ej längre giltiga.

Utöver ovanstående villkor så måste även följande förutsättningar uppfyllas:

- I varuhus skall det alltid finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar.
- Utrymningsvägrarna skall vara placerade så långt ifrån varandra som möjligt.
- Ytskikt och inredning skall utformas så att risken för brandspridning minimeras.

4.3 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att påvisa hur olika val av indata påverkar dimensioneringen av dörrbredden. Tre parametrar studeras; kritiska förhållanden, felsannolikhet och persontäthet. Känslighetsanalysen skall också försöka förklara varför vissa kombinationer av area och höjd inte har någon lösning.

4.3.1 Kritiska förhållanden

För att undersöka hur valet av kritiska förhållande påverkar behovet av dörrbredd genomförs en känslighetsanalys. De kritiska förhållanden som initialt studerats är hämtade från BBR (1998). I känslighetsanalysen väljs i stället följande alternativa definition av kritiska förhållande (se kapitel 3.3.2):

- Brandgasnivå lägst 1.5 m om brandgastemperauren är högre än 100°C annars maximal brandgastemperatur 100°C

Dimensionerande dörrbredd för olika kritiska förhållanden redovisas nedan

Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm

Fall	Höjd	Area	Kritiska förhållanden enligt BBR	Alternativ definition
1	4 m	600 m^2	4.4 m	2.6 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	2.3 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	2.1 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	2.6 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	2.4 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	2.2 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	2.8 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	2.6 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	2.4 m

Differensen mellan BBR:s definition av kritiska förhållanden och den alternativa definitionen är för de lokaler med små golvytor och låg takhöjd relativt stor. Denna differens beror till stor del på att tillgänglig tid för utrymning (t_u) ökar vid förändringen av de kritiska förhållandena. För en lokal med en takhöjd på 4 m och en golvarea på 600 m^2 är skillnaden i t_u cirka 35 s. Under dessa 35 s hinner ungefär ytterligare 110 personer att ta sig ut ur lokalen. Då dimensionerande personantal är 300 personer så framgår betydelsen av t_u och dess koppling till dörrbredden tydligt.

För att få enhetlighet vid den brandtekniska dimensioneringen används BBR:s definition på kritiska förhållanden som indata vid riskanalysen. detta har gjorts flera gånger tidigare av Jönsson och Lundin (1998), Olsson (1999), Magnusson m fl (1995) bland flera.

4.3.2 Val av tillväxthastighet

För att undersöka hur mycket den variabel som bestämmer hur mycket tillgänglig tid som finns för utrymning genomförs en känslighetsanalys av tillväxthastigheten, α:s inverkan. Undersökningar (Angerd, 1999) visar att en tillväxthastighet fördelad enligt NF(0.02,0.005) är tillämpbar för många affärer. Känslighetsanalysen ger följande resultat.

Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm

Fall	Höjd	Area	α= NF(0.04,0.01)	α= NF(0.02,0.005)
1	4 m	600 m^2	4.4 m	2.8 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	2.5 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	2.3 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	2.5 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	2.3 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	2.2 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	2.6 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	2.4 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	2.3 m

Dörrbredden påverkas märkbart då tillväxthastigheten förändras. För samtliga dimensioneringsfall hamnar dörrbredden mellan 2.2-2.8 m. Valet av tillväxthastighet är alltså av mycket stor betydelse för den dimensionerande dörrbredden.

Scenario 8 – utrymningslarm

Fall	Höjd	Area	α= NF(0.04,0.01)	α= NF(0.02,0.005)
1	4 m	600 m^2	-	19.5 m
2	5 m	600 m^2	-	7.9 m
3	6 m	600 m^2	-	5.1 m
4	4 m	1000 m^2	83.3 m	5.4 m
5	5 m	1000 m^2	16.5 m	4.1 m
6	6 m	1000 m^2	9.8 m	3.4 m
7	4 m	1500 m^2	13.1 m	4.6 m
8	5 m	1500 m^2	8.6 m	3.8 m
9	6 m	1500 m^2	6.7 m	3.3 m

Samtliga dimensioneringsfall får en lösning då tillväxthastigheten ändras. Systemets stabilitet tenderar att öka och anledningen därtill diskuteras i kapitel 5.1.

4.3.3 Felsannolikhet (β-värde)

Val av felsannolikhet har stor betydelse för vilken dörrbredd som krävs. Ju högre krav vi ställer på systemets tillförlitlighet desto större marginal krävs. För att undersöka känsligheten genomför beräkningarna för tre nya felsannolikheter; 10 %, 5 % respektive 2.5 %, vilka representeras av β-värden på 1.28, 1.65 respektive 1.96.

Dimensionerande dörrbredd för olika felsannolikheter redovisas nedan

Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm

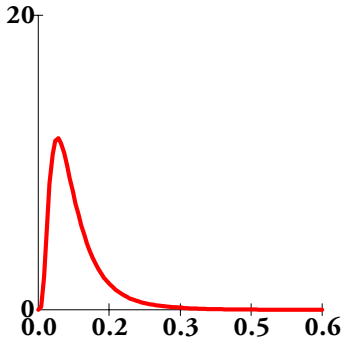
Fall	Höjd	Area	P(fel) = 0.15	P(fel) = 0.10	P(fel) = 0.05	P(fel) = 0.025
1	4 m	600 m^2	4.4 m	4.9 m	6.0 m	7.3 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	4.3 m	5.0 m	5.9 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	3.8 m	4.4 m	5.1 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	3.8 m	4.1 m	4.5 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	3.4 m	3.7 m	4.0 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	3.1 m	3.4 m	3.6 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	3.8 m	4.0 m	4.2 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	3.4 m	3.6 m	3.8 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	3.2 m	3.3 m	3.5 m

Känslighetsanalysen visar att det återigen är för de lokaler med låg takhöjd och liten golvarea som påverkas mest av att felsannolikheten förändras. För en lokal med 4 m takhöjd och 600 m^2 golvarea är skillnaden en acceptabel risk på 0.15 och 0.025 2.9 m, vilket motsvarar cirka 3 dörröppningar. Samma skillnad för en lokal med 6 m takhöjd och 1500 m^2 golvarea är endast 0.4 m. En slutsats är att om man vill höja säkerheten i de mindre lokalerna krävs att betydligt fler meter dörrbredd installeras. Detta har sin förklaring i att marginalerna är redan från början är relativt små .

Valet av acceptabel risk är ingenting som denna rapport kommer att ta ställning till. Det är upp till myndigheterna att avgöra vad samhället kan acceptera. I rapporten presenteras endast, som i detta fall, hur dimensioneringen påverkas av olika indata där bland acceptabel risk. De ekvationer som presenteras i rapporten är dock baserade på den risk som kan härledas ur tillgänglig statistik.

4.3.4 Persontäthet

Den persontäthet som har använts som är 0.5 personer/m^2, vilket är det värde som skall användas vid utrymningsdimensionering enligt BBR (1998). Det är emellertid så att undersökningar av persontätheten i affärer visar ett helt annat resultat (Angerd, 1999). En fördelning av persontätheten i affärslokaler visas av Johansson (1999), vilken återges nedan i Figur 8. I figuren framgår det att förväntat värde är 0.08 personer/m^2. BBR:s dimensionerande värde inträffar endast 1 på 1000. Skillnaden är i och för sig logisk då BBR:s dimensionerande värde skall representera en persontäthet som mycket sällan överskrids under byggnadens livstid.



Figur 8 Generell fördelning av persontätheten (x) inom byggnadskategorin Handel

Hur som helst kan det vara av intresse att studera hur den dimensionerande dörrbredden påverkas av persontätheten. Vid riskanalyser är det relativt vanligt att välja värden som representerar 95 % percentilen. Detta värde för persontätheten är 0.2 personer/m^2. I tabellen nedan redovisas dörrbredden för de olika persontätheter som studerades i känslighetsanalysen.

Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm

Fall	Höjd	Area	N = 0.5 pers/m^2	N = 0.2 pers/m^2
1	4 m	600 m^2	4.4 m	1.8 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	1.6 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	1.4 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	1,4 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	1.3 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	1.2 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	1.4 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	1.3 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	1.2 m

Analysen påvisar ett starkt samband mellan dörrbredd och persontäthet. Detta samband framgår även då man studerar ekvation 20-23 i kapitel 4.2. För fall 1 innebär en minskad persontäthet från 0.5 till 0.2 personer/m^2 att dörrbredden kan minskas med 2.6 m. Detta är troligen inte hela sanningen då en sänkning av persontäthet troligen innebär att även andra parametrar som tex reaktionstiden förändras.

4.3.5 Reaktionstid

Med syftet att undersöka hur stor inverkan valda egenskaper för reaktionstiden påverkar resultatet kommer en känslighetsanalys där parametern varieras enligt följande att utföras:

- Standardavvikelsen kommer att minskas i syfte att reducera spridningen
- Medelvärdet kommer att höjas
- En kombination av de båda förändringarna ovan.

Reaktionstiden består av en stokastisk variabel R_0 och en areaberoende del (se kapitel 4.1.3). Beroende av vilket utrymningslarm (talat meddelande eller klocka) som finns installerat) antar variabeln R_0 vissa egenskaper.

Tabell 8 Förändring av R_0:s egenskaper

Variabel	$R_{0,tal}$ (m, s)	$R_{0,ring}$ (m, s)	Enhet
Ursprungligt värde	60, 20	70, 30	s
Förändring 1	60, 10	70, 15	s
Förändring 2	80, 20	90, 30	s
Förändring 3	80, 10	90, 15	s

<u>Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm</u>

Fall	Höjd	Area	R_0=(60,20)	R_0=(60,10)	R_0=(80,20)	R_0=(80,10)
1	4 m	600 m^2	4.4 m	3.8 m	7.2 m	5.7 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	3.4 m	5.9 m	4.8 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	3.1 m	5.0 m	4.2 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	3.3 m	4.4 m	4.0 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	3.0 m	3.9 m	3.6 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	2.8 m	3.5 m	3.3 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	3.5 m	4.1 m	3.9 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	3.2 m	3.7 m	3.6 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	3.0 m	3.4 m	3.3 m

Dörrbredden påverkas märkbart då R_0*:s* egenskaper förändras. Det är framförallt parameterns standardavvikelse som påverkar resultatet. Återigen är påverkan störst för de fall då takhöjden och golvarean antar de lägre värdena.

Scenario 8 – utrymningslarm

Fall	Höjd	Area	R_0=(70,30)	R_0=(70,15)	R_0=(90,30)	R_0=(90,15)
1	4 m	600 m^2	-	-	-	-
2	5 m	600 m^2	-	-	-	-
3	6 m	600 m^2	-	-	-	-
4	4 m	1000 m^2	83.3 m	23.3 m	-	-
5	5 m	1000 m^2	16.5 m	11.0 m	-	25.6 m
6	6 m	1000 m^2	9.8 m	7.6 m	19.8 m	12.5 m
7	4 m	1500 m^2	13.1 m	10.5 m	23.8 m	16.4 m
8	5 m	1500 m^2	8.6 m	7.4 m	12.3 m	10.0 m
9	6 m	1500 m^2	6.7 m	6.0 m	8.7 m	7.5 m

Antalet lösningar i detta scenario som redan för de dimensionerande värden saknar lösningar för alla dimensioneringsfall förvärras ytterligare då R_0:s egenskaper förändras. Att systemet saknar lösning för så många fall är inte acceptabelt.

4.3.6 Modellosäkerhet

Brandförloppsmodellen CFAST (Peacock m fl, 1994) är förknippad med en rad osäkerheter. Enligt Lundin (1997) är det vanligt att modellen överskattar både temperaturökning och rökfyllnadstid. Om denna överskattning även gäller i de situationer som analyserats här går inte att säkerställa utan experimentella studier. Men, en överskattning av tid till kritiska förhållanden borde medföra att byggnad får en högre säkerhetsnivå än vad som ansetts acceptabel från början.

Magnusson m fl (1997) uppskattar att beräknad tid till kritiska förhållanden skall ökas med 35 % för att modellosäkerheten skall beaktas. Då systemet påverkas märkbart av förändringar i tid till kritiska förhållanden är det möjligt att en ökning av denna tid kan resultera att dörrbredden kan beräknas i samtliga fall och scenarier. Nedan visas hur dörrbredden påverkas då hänsyn till modellosäkerheten tas.

Scenario 2 – talat utrymningsmeddelande och automatiskt brandlarm

Fall	Höjd	Area	Modellosäkerhet 0 %	Modellosäkerhet 35 %
1	4 m	600 m^2	4.4 m	1.7 m
2	5 m	600 m^2	3.9 m	1.6 m
3	6 m	600 m^2	3.5 m	1.5 m
4	4 m	1000 m^2	3.6 m	1.8 m
5	5 m	1000 m^2	3.2 m	1.7 m
6	6 m	1000 m^2	3.0 m	1.6 m
7	4 m	1500 m^2	3.6 m	2.0 m
8	5 m	1500 m^2	3.3 m	1.9 m
9	6 m	1500 m^2	3.1 m	1.8 m

Känslighetsanalysen visar att modellosäkerheten har mycket stor betydelse på slutresultatet – dörrbredden. I exemplet ovan överdimensioneras utrymningsvägarna så att det motsvarar en mycket hårdare säkerhetsnivå än den som accepterats initialt. Skillnaderna mellan de beräknade dörrbredderna är 2-3 gånger. Fortsatt diskussion sker i kapitel 5.2.

Scenario 8 – utrymningslarm

Fall	Höjd	Area	Modellosäkerhet 0 %	Modellosäkerhet 35 %
1	4 m	600 m^2	-	5.5 m
2	5 m	600 m^2	-	3.8 m
3	6 m	600 m^2	-	2.9 m
4	4 m	1000 m^2	83.3 m	3.5 m
5	5 m	1000 m^2	16.5 m	2.9 m
6	6 m	1000 m^2	9.8 m	2.5 m
7	4 m	1500 m^2	13.1 m	3.4 m
8	5 m	1500 m^2	8.6 m	2.9 m
9	6 m	1500 m^2	6.7 m	2.5 m

Känslighetsanalysen för scenariot visar tydligt hur modellosäkerheten påverkar resultatet. För en ökning av kritisk tid med 35%, vilket motsvarar cirka 2 min extra utrymningstid så erhålls lösningar på dörrbredden för samtliga dimensioneringsfall.

Skillnader mellan Scenario 2 och Scenario 8

För att för första gången belysa skillnaderna mellan det mest fördelaktiga scenariot och det minst fördelaktiga så jämförs dörrbredden mellan de två scenarierna när modellosäkerheten beaktas.

Fall	Höjd	Area	Scenario 2	Scenario 8	Differens
1	4 m	600 m^2	1.7 m	5.5 m	3.8 m
2	5 m	600 m^2	1.6 m	3.8 m	2.2 m
3	6 m	600 m^2	1.5 m	2.9 m	1.4 m
4	4 m	1000 m^2	1.8 m	3.5 m	1.7 m
5	5 m	1000 m^2	1.7 m	2.9 m	1.2 m
6	6 m	1000 m^2	1.6 m	2.5 m	0.9 m
7	4 m	1500 m^2	2.0 m	3.4 m	1.4 m
8	5 m	1500 m^2	1.9 m	2.9 m	1.0 m
9	6 m	1500 m^2	1.8 m	2.5 m	0.7 m

Den beräknade skillnaden i dörrbredd mellan de olika scenarierna minskar med ökad takhöjd och golvarea. I tillräckligt stora lokaler så har installerat skyddssystem inte så stor betydelse för utrymningen. Anledning till detta är troligen att den tillgängliga tiden för utrymning ökar betydligt och faktorer som påverkar utrymningen får mindre betydelse.

5 Diskussion

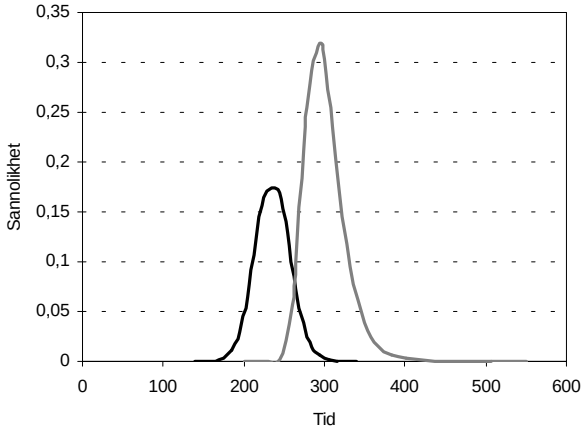
Tyvärr måste metodens användbarhet förses med ett antal begränsningar. Säkerhetsmarginalen enligt beräkningarna är liten och för att få tillfredsställande säkerhet i många fall krävs orimliga dörrbredder på 40-60 m. Ytterligare ett problem är den osäkerhet som bland annat brandförloppsmodellerna är behäftade med. Men, så länge dessa modeller används för övrig dimensionering genom beräkning så kan även denna metod användas.

5.1 Säkerhetsmarginalen

För att besvara frågan varför det inte går att finna lösningar till så många scenarier och beräkningsfall, vilka redovisas i 4.2.1 undersök betydelsen säkerhetsmarginalens utseende. Säkerhetsmarginalen beskrivs i kapitel 3.3.1 och återges här för klarhet:

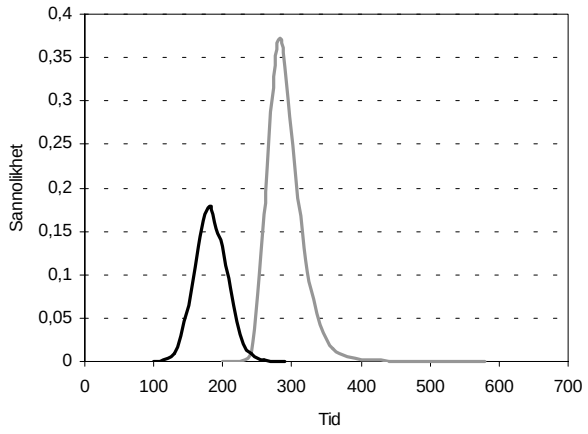
$$G(t) = t_u - t_{det} - t_R - t_e \qquad \textit{Ekv 28}$$

I Figur 9 visas det karakteristiska utseende för de dimensionerande värdena i scenario 2 då tillgänglig tid för utrymning sätts mot den faktiska utrymningstiden.



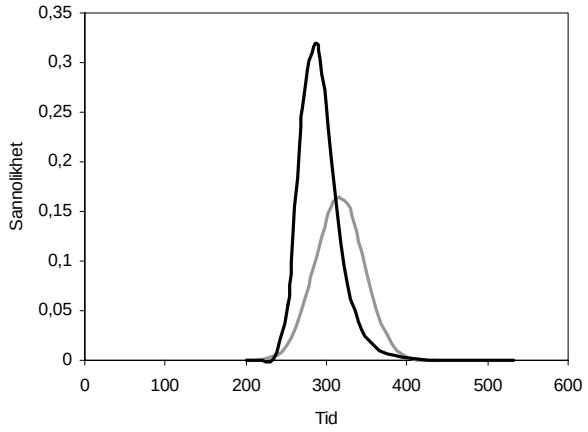
Figur 9 Illustration av tillgänglig tid för utrymning och faktisk utrymningstid för de dimensionerande värdena för scenario 2.

Sannolikheten att säkerhetsmarginalen skall bli mindre än noll är 0.003. För det fall då mer troliga värden används (se kapitel 4.3.4) på till exempel persontätheten minskar denna sannolikhet med en faktor 10 till 0.0002. Tillgänglig tid för utrymning och den faktiska utrymningstiden för detta fall visas i Figur 10.



Figur 10 Illustration av tillgänglig tid för utrymning och faktisk utrymningstid för mer troliga värden för scenario 2 presenterade i kapitel 4.3.

Om man i stället väljer att studera hur tillgänglig tid för utrymning och faktisk utrymningstid ser ut för ett mer ogynnsamt scenario (nr 8) där branden upptäcks i ett senare skede och människorna reagerar långsammare så tar graferna form enligt Figur 11.



Figur 11 Illustration av tillgänglig tid för utrymning och faktisk utrymningstid för mer ogynnsamma förhållanden representerade i scenario 8.

Sannolikheten att säkerhetsmarginalen skall bli mindre än noll är hela sju fall av tio (0.72). Optimeringsrutinen har för detta scenario ingen rimlig chans att hitta en dimensionerande värden för ett β motsvarande en felsannolikhet på 15% då den förväntad felsannolikhet är 72%. Detta förklarar varför det inte finns någon lösning till så många beräkningsfall. För att få en metod som fungerar måste avståndet mellan tillgänglig tid för utrymning och den faktiska utrymningstiden öka avsevärt.

Tillgänglig tid för utrymning baseras på den tid det tar för branden att orsaka kritiska förhållanden i rummet. Denna tid styrs av brandens tillväxthastighet (se kapitel 4.1.2). I tillämpningsexemplet antas att denna tillväxthastighet är NF(0.04,0.01). En tillväxthastighet på 0,04 kW/s^2 kan översättas till ett snabbt brandförlopp. I denna parameter finns alltså endast de bränder som orsakar kritiska förhållanden med, vilket är långt ifrån alla bränder. Om det i stället vore möjligt att hitta en ny fördelning på parametern som inkluderar även de ”ofarliga” bränderna

så borde avståndet mellan tillgänglig tid för utrymning och den faktiska utrymningstiden öka. Här kan lösningen till varför metoden fungerar dåligt för vissa alternativ och scenarier finnas.

Detta angreppssätt är förenligt med teorierna som används inom bärande konstruktioner för lasteffekten (jfr utrymningstiden) består av ett antal olika laster såsom permanenta laster, variabla laster och olyckslaster. I vårt fall använder vi endast olyckslaster, vilka utgör endast en mindre del av lasteffekten hos bärande konstruktioner.

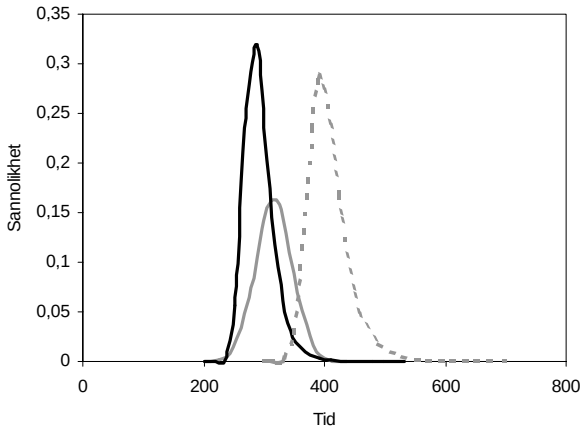
Det är även möjligt att öka den tillåtna felsannolikheten. Om man väljer att studera antalet bränder som har potential att orsaka kritiska förhållanden och studerar hur många av dessa bränder som orsakar skada på människan kan ett nytt mål-β tas fram. Ur Statistik från räddningsinsatser i Sverige (Johansson, 1999) dras följande slutsatser (se även kapitel 4.1.1).

- 239 bränder inträffar i byggnadskategorin ”handel”
- Vid fem bränder blir en eller fler personer minst lindrigt skadade
- Dessa bränder uppstår i garage (2.5%), hall (1.3%), kök (10%), försäljningslokal (16.3%) och personalutrymme (4.2%).
- I hall och försäljningslokal skadades vid tre bränder en eller flera människor.
- 48.6% av alla bränder i byggnadskategorin släcks/självslocknar utan att utgöra någon fara och av de bränder som tillväxer kommer 68.4% att inte utvecklas till större bränder.

Med ovanstående statistiska information så kan en ny felsannolikhet beräknas till 3/(239*(1-0.486)*(1-0.68)*(0.163+0.013) = 0.44, vilket motsvarar ett β-värde på 0.16. Den metod som används för optimeringen är anpassad för att hantera β-värden mellan 1 och 2.5, varför det nya värdet inte kan användas utan att omfattande förändringar görs i optimeringsrutinen.

5.2 Modellosäkerhet

Osäkerheten i optimeringsmodellen är mycket liten, vilket kan utläsas ur de standardavvikelser som anges för respektive scenario i kapitel 4.2.1. Överensstämmelsen mellan regressionsuttrycken i kapitel 4.1.3 och tillhörande datormodell är god. Däremot är datormodellen för beräkning av brandförloppet förknippat med en rad osäkerheter. Både Magnusson m fl (1997) och Lundin (1999) har påpekat dessa osäkerheter. Känslighetsanalysen i kapitel 4.3.6 visar att modellosäkerheten har alldeles för stor betydelse för resultatet för att metoden skall vara praktiskt användbar i dagsläget.



Figur 12 Figuren visar hur tillgänglig tid för utrymning ökar (streckad linje) om hänsyn tas till en modellosäkerhet på 35% i enlighet med kapitel 4.3.6.

Sannolikheten att säkerhetsmarginalen skall understiga noll är 1.2 % till skillnad från 72 % då hänsyn till modellosäkerhet inte tas. Detta beror på att tidsmarginalen för de förväntade värden ökar från –25 s i normalfallet till 78 s då hänsyn tas till modellosäkerheten. Då modellosäkerheten visar sig ha en så pass stor betydelse för resultatet krävs fördjupade insatser i verifieringen av de beräkningsverktyg som används för brandteknisk dimensionering.

5.3 Osäkra variabler

I analysen ingår endast brandens tillväxthastighet och människornas reaktionstid som stokastiska variabler. Naturligtvis finns det fler variabler som är svåra att tilldela ett bestämt värde. Exempel på sådana variabler är manuell detektionstid, förflyttningshastighet mm. I fallet med endast två stokastiska variabler blir optimeringen lättare att utföra. Lösningen beskrivs som en punkt på en linje i ett tvådimensionellt plan (se kapitel 3.2). Om vi utökar till tre slumpvariabler ställer detta till problem för tolkning av resultatet. Problemet ligger i att lösningarna till ekvationerna så som lösningsmetodiken ser ut nu ligger på en linje (plan) i rymden. Alla lösningar längs denna linje är acceptabla och ytterligare randvillkor måste föras in för att metoden skall bli praktiskt användbar. Fortsatt forskning krävs för att utröna hur fler än två slumpvariabler kan inkluderas i metoden.

5.4 Förslag till fortsatt forskning

Idén med att använda enkla ekvationer baserade på risk för dimensionering av brandskydd i en byggnad är allt för tilltalande för att förkastas efter dessa forskningsresultat. Då det fortfarande existerar utforskade vägar hur metoden skall tillämpas för att få mer stabila resultat föreslås följande förslag till fortsatt forskning.

- Undersöka hur en koppling kan göras till brandfrekvensen. Vid beräkningarna bör man möjligen ta hänsyn till hur pass ofta det brinner i byggnaden.

- Noggrannare undersökning kring tilldelning av variablers värden. De medelvärden och standardavvikelser som karakteriserar de stokastiska variablerna bör förankras i verkligheten och representera samtliga bränder (se känslighetsanalys i kapitel 4.3.2 och 4.3.5.)

- Skapa bättre modeller som beskriver utrymningssituationen. Den enkla $G(t) = t_u - t_{det} - t_R - t_e$ kan vara allt för primitiv då den betraktar människorna som en gemensam massa.

- Studera för vilka andra brandtekniska applikationer där det med hänsyn till justeringar enligt ovanstående typ kan vara möjligt att härleda dimensioneringsekvationer baserade på risk.

Det bör anses betydelsefullt att finna tillämpningar och lösningar för denna metod med syftet att på sikt reducera de generella värdena som finns i den förenklade dimensioneringen och ersätta dem med värden baserade på risktänkande.

6 Referenser

Ang A.H-S., Tang W.H. *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume 2 - Decision, Risk and Reliability*. John Wiley & Sons, New York, 1984.

Angerd M., *Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?* Rapport 5028, Avdelningen för Brandteknik, Lund universitet, 1999.

BBR, *Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändringar BFS 1998:38*, Boverket, Karlskrona 1999.

Becker P. *Metod för riskbaserad dimensionering genom beräkning*, Rapport 3109, Avdelning för Brandteknik, Lunds universitet, 1999.

Boverket. *Utrymningsdimensionering*. Rapport 1994:10, Boverket, Karlskrona, 1994.

Evans D.D., Stroup D.W. *Methods of Calculating the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large Unobstructed Ceilings*. NBSIR 85-3167, National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1985.

Frantzich H. *En modell för dimensionering av förbindelser för utrymning utifrån funktionsbaserade krav*. Rapport 1011. Inst för brandteknik, Lunds universitet, 1994.

Frantzich H., Holmquist B., Lundin J., Magnusson S.E., Rydén J. *Derivation of Partial Safety Factors for Fire Safety Evaluation Using the Reliability Index β Method*. Proc. 5th International Symposium on Fire Safety Science, pp 667-678, 1997.

Hamed M.M, *First-Order Reliability Analysis of Public Health Risk Assessment*, Risk Analysis, Vol. 17, No 2, pp 177-185, 1997

Hasofer A.M., Lind N.C. *An Exact and Invariant First Order Reliability Format*. Proc. ASCE, J Eng. Mech. Div. 1974.

Johansson H. *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*, Rapport 3105, Avdelningen för Brandteknik, Lunds universitet, 1999.

Jönsson R., Lundin J. *The Swedish Case Study – different fire safety design methods applied on a high rise building*, report 3099, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, 1998.

Karlsson B., Magnusson S. E., Frantzich H. *Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler*. Rapport 3075. Inst för brandteknik, Lunds universitet, 1996.

Lundin J. *Model Uncertainty in Fire Safety Engineering*, Report 1020, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 1999.

Magnusson S.E., Frantzich H., Karlsson B., Särdqvist S. *Determination of Safety Factors in Design Based on Performance*. 4th International Symposium on Fire Safety Science, pp 937-948, 1994.

Magnusson S.E., Frantzich H., Harada K. *Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification*. Rapport 3078. Inst för brandteknik, Lunds universitet, 1995.

Magnusson S.E., Frantzich H., Harada K. *Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification.* Fire Safety Journal. Vol. 27, pp 305-334, 1997.

Magnusson S.E., Frantzich H., Lundin J. *Slutredovisning från projekten "Brandteknisk dimensionering baserad på beräkning" (SBUF) och "Funktionsbaserad brandteknisk dimensionering" (Brandforsk)*. Rapport 3093. Inst för brandteknik, Lunds universitet, 1997.

Peacock R.D., Jones W.W., Forney G.G., Portier R.W., Reneke P.A., Bukowski R.W., Klote J.H. *An Update Guide for HAZARD I Version 1.2*, NISTIR 5410, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1994.

Räddningsverket, *Att skydda och rädda liv, egendom och miljö - Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten*. Rapport R16-038/88, Karlstad, 1989.

Thoft-Christensen P., Baker M.J., *Structural Reliability and Its Applications*. Springer Verlag, Berlin, 1982.