



LUND UNIVERSITY

Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler

Karlsson, Björn; Magnusson, Sven Erik; Frantzich, Håkan

1996

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Karlsson, B., Magnusson, S. E., & Frantzich, H. (1996). *Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler*. (LUTVDG/TVBB--3075--SE; Vol. 3075). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

3

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

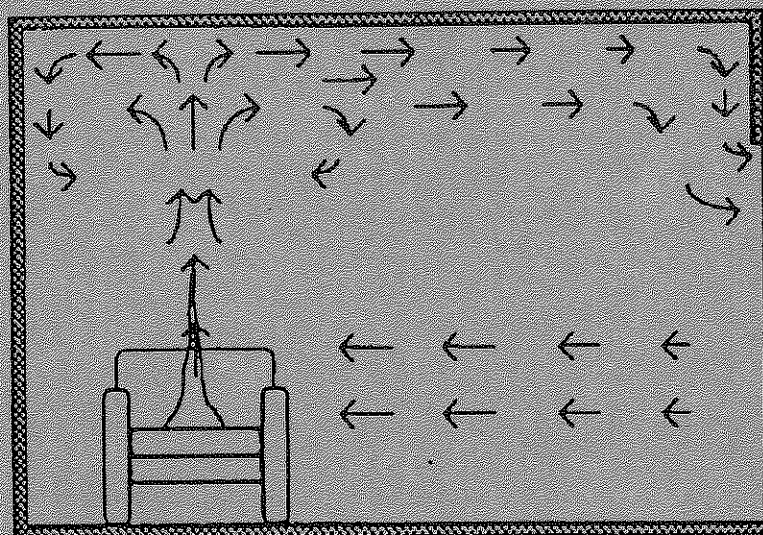
Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet



Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University

Rapport 3075

Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler



Björn Karlsson
Sven Erik Magnusson
Håkan Frantzich

Rapporten är finansierad av Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB
Brandutskottet

Lund, februari 1996

Dimensionering utifrån funktionsbaserade regler

**Björn Karlsson
Sven Erik Magnusson
Håkan Frantzich**

ISSN 1102-8246

ISRN LUTVDG/TVBB--3075--SE

Keywords: Risk, fire, performance based building regulation, safety;
brand, funktionsbaserade byggregler

© Copyright Institutionen för brandteknik
Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1996

Omslag: Maria Andersen

Layout: Maria Andersen

Illustrationer/Diagram: Björn Karlsson, Håkan Frantzich

Department of Fire Safety Engineering · Lund Institute of Technology · Lund University

Adress/Address	Telefon/Telephone	Telefax	E-post/E-mail
Box 118 / John Ericssons väg 1	046 - 222 73 60	046 - 222 46 12	
S-221 00 LUND	+46 46 222 73 60	+46 46 222 46 12	Bjorn.Karlsson@brand.lth.se

Innehållsförteckning	Sida
Förord	3
1 Bakgrund	5
2 Fördelar och nackdelar med funktionsbaserade föreskrifter och olika dimensioneringsmetoder	7
2.1 Funktionsbaserade föreskrifter	7
2.2 Dimensioneringsmetoder	7
3 Utvärderingskriterier	11
3.1 Siktbarhet	11
3.2 Värmestrålning	11
3.3 Temperatur	11
3.4 Giftiga gaser	12
3.5 Andra kriterier; brandgasskiktets höjd	12
4 Nuvarande metoder för funktionsbaserad dimensionering	13
4.1 Dimensionerande brand	13
4.2 Beräkningsmodeller för brand och rökspridning	14
4.2.1 Fältmodeller (CFD-modeller)	14
4.2.2 Två-zons modeller	14
4.2.3 Handräkningsmodeller	15
4.2.4 Två-zons modellernas begränsningar	16
4.2.5 Enkelt deterministiskt beräkningsexempel	16
4.3 Beräkningsmodeller för utrymning	18
4.3.1 Inledning	18
4.3.2 Problemet	19
4.3.3 Dimensioneringsmetoder	19
4.3.4 Dimensionering enligt schablonmetoden	19
4.3.5 Dimensionering genom enkel beräkning	20
4.3.6 Dimensionerande värden	22
5 Riskbaserad dimensionering; nuläge	23
5.1 Allmän bakgrund	23
5.2 Hur beräknas risk?	24
5.3 Olika metoder att verifiera en dimensionering	24
5.4 Allmänt om partialkoefficienter	27
5.5 Algoritm för bestämning av partialkoefficienter	28

6	Allmänna rekommendationer för nödvändig fortsatt forskning	31
7	Förslag till specificerat NKB-projekt	33
	Referenser	35
	Ordlista	37
	Appendix	

Förord

Vid genomläsning av denna rapport är det viktigt att känna till skillnader mellan vissa olika begrepp som diskuteras.

Föreskrifter kan delas in i två grupper; detaljreglerande (s k preskriptiva) och funktionsbaserade.

Dimensioneringsmetoder kan också delas upp i olika nivåer beroende på deras detaljeringsgrad, t ex schablonmetoder, enkla analytiska ekvationer eller datorberäkningar och riskbaserad dimensionering. Det finns inget krav på att en viss typ av föreskrift kräver en viss typ av dimensioneringsmetod. En funktionsbaserad föreskrift kräver t ex inte att dimensioneringsmetoden är baserad på beräkningar. Även preskriptiva lösningar kan användas för att uppfylla en funktionsbaserad föreskrift.

Riskutvärderingsmetoder kan bl a användas för att bestämma säkerhetsnivåer för olika typer av byggnader. Dessa utvärderingsmetoder kan dessutom användas för att bestämma indata för användning i de ovannämnda dimensioneringsmetoderna. Denna typ av indata är då baserad på ett statistiskt underlag som ger en jämn säkerhetsnivå mellan olika byggnader. Riskutvärderingsmetoder kan även användas direkt för dimensionering av en viss byggnad.

I rapporten ges argument för och emot olika föreskriftstyper och olika dimensioneringsmetoder.

1 Bakgrund

Samhällets krav vad gäller förebyggande brandförsvär är i första hand inriktade på omsorgen om människors säkerhet och i andra hand på egendomsskyddet. I det först nämnda fallet är det brandens tidiga skede som är av intresse medan den fullt utvecklade, långvariga branden har störst inverkan på egendomsskydd. Vad gäller egendomsskyddet har det sedan länge funnits internationellt erkända metoder för ingenjörsmässig dimensionering vad gäller byggnaders stabilitet. Vad gäller omsorgen för människors säkerhet har utveckling av datormodeller som förutsäger brandförloppet i en byggnad varit omfattande. Detta har lett till att ingenjörer i en växande grad använder sådana modeller för brandteknisk dimensionering med hänsyn till människors säkerhet och utformning av brandskyddstekniska system.

De senaste decennierna har utvecklingen inom byggnadsindustrin lett till att det byggs allt större och mer komplexa byggnader. Som exempel kan nämnas stora varuhus med många öppna våningar, underjordsanläggningar, överbyggda gårdar och byggnader med stor, osekionerad golvarea.

Detta, samt den ökade kunskapen inom brandtekniken, har lett till att en ny generation brandskyddsregler har formulerats i ett flertal länder. Den nya generationen av byggnadsbestämmelser gällande brandskydd innebär att man övergår till mer funktionsbaserade regler eller föreskrifter. Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) har tagit fram ett dokument med funktionsbaserade regler med en tillhörande teknisk vägledning [1]. Denna vägledning är dock inte fullständig eftersom bl.a. tillförlitligheten i både modeller och indata inte är känd. I NKB's tekniska vägledning skall hänsyn tas till tillförlitlighet genom partialkoefficienter men värden på dessa anges ej. Den tekniska vägledningen är därför inte fullständig.

För att verifiera de nya funktionsbaserade reglerna genom ingenjörsmässiga metoder krävs ett omfattande arbete att producera underlag i form av handböcker och tekniska vägledningar. Den praktiska konsekvensen för arkitekter, konstruktörer och konsulter är bl a att brandskyddsproblemen numera allt oftare kräver en mer kompetent och ingenjörsmässig behandling för att brandsäkerheten skall säkerställas kostnadseffektivt.

Denna rapport är en del i ett projekt som har slutmålet att färdigställa de funktionsbaserade regler och den tekniska vägledning som NKB arbetat fram. Genom detta har de nordiska länderna möjlighet att påverka utvecklingen till att ett nytt steg tas i riktning mot ett kostnadseffektivt brandskydd med acceptabel säkerhetsnivå. Arbetet kan ansluta till det standardiseringsarbete som pågår internationellt. För att nå målet behöver fler inom byggbranchen få kunskap gällande funktionsbaserade regler och ingenjörsmässiga samt sannolikhetsteoretiska dimensioneringsmetoder.

NKB's brandutskott har valt att som ett första delmål ta fram denna rapport för att på så vis försöka öka förståelsen kring, och intressera fler att arbeta med, funktionsbaserad dimensionering. Rapporten beskriver därför fördelar och nackdelar med funktionsbaserade krav, ger en mycket kortfattad beskrivning av de metoder som för närvarande används för dimensionering samt föreslår hur det fortsatta arbetet bör utföras.

2 Fördelar och nackdelar med funktionsbaserade föreskrifter och olika dimensioneringsmetoder

2.1 Funktionsbaserade föreskrifter

De regler som har styrt utformningen av det byggnadstekniska brandskyddet har sett ungefär likadana ut under de senaste årtiondena. De har till störst del byggts på empirik, intuition och tumregler som har samlats in genom erfarenhet. Samtidigt har den moderna byggnadsteknologin producerat byggnader av allt större fysiska dimensioner och ovanliga planlösningar. Vid branteknisk dimensionering av sådana byggnader vet man inte om de erfarenhetsbaserade, detaljföreskrivande reglerna gäller eller om de kan ha direkt motsatt verkan på säkerheten. Samtidigt kan det vara ekonomiskt omöjligt att genomföra kraven. Självfallet kommer man inte att lägga ner omfattande och dyrt utredningsarbete för mycket enkla byggnader, där erfarenhetsbasen är stor, de gamla tumreglerna gäller och rimlig säkerhetsnivå är därmed garanterad genom användandet av enkla råd. Men för byggnader med ovanlig utformning måste det finnas en alternativ ingenjörsmässig metodologi.

Funktionskravsrelaterade normer innebär att den föreskrivande och alltså tvingande delen av normerna anger syftet med en regel. De funktionsbaserade reglerna anger därför krav vad gäller byggnadens funktion i motsats till de tidigare föreskrivande reglerna, som beskrev hur byggnaden skulle utformas. Normalt innehåller inte de funktionsbaserade kraven verifierbara nivåer utan dessa anges i rådstext. Med dagens kunskap är det endast möjligt att ange sådana nivåer i vissa fall. Dessutom har det inte varit möjligt att införa funktionskrav i hela brandskyddsavsnittet, eftersom tillräcklig kunskap saknas.

Den stora fördelen med funktionsbaserade normer är bl a att:

- Ny kunskap lättare kan beaktas.
- Den pedagogiska uppbyggnaden av reglerna blir klarare.
- Brandskyddslösningarna blir mer flexibla och bättre anpassade till det specifika objektet.
- Jämnare säkerhetsnivåer erhålls i olika byggnader.
- Brandskyddsprojektering kommer på sikt att jämföras ingenjörsmässigt t ex med projektering av bärverk.
- Komplicerade byggnader kan projekteras där hänsyn tas till både säkerhet och ekonomi.

Nackdelen med funktionsbaserade regler är:

- Att de ställer högre krav på såväl projektörer som granskande myndigheter.
- De kan leda till högre projekteringskostnader men bör leda till billigare helhetslösning i slutändan.
- Överföring av tekniskt kunnande tar oundvikligen lång tid. De närmaste åren kommer därför dimensioneringsförfarande enligt de nya reglerna att mötas med viss skepsis.

2.2 Dimensioneringsmetoder

Ett vanligt missförstånd vad gäller funktionsbaserade föreskrifter är att dimensioneringen måste bygga på mycket komplicerade beräkningsmetoder. Det bör

därför klargöras att funktionsbaserade föreskrifter anger vad som skall uppnås och vad som är kravet för att visa att föreskriften är uppfylld. Funktionsbaserade föreskrifter har egentligen inget med dimensioneringen i sak att göra. Man kan dimensionera byggnaders brandskydd med hjälp av tabellmetoder eller med mer eller mindre komplexa beräkningsmetoder och ändå utgå ifrån krav som är formulerade som funktionsbeskrivande. Ibland tolkas funktionsbaserade regler som sådana som innebär att en analytisk dimensioneringsmetod måste användas. Detta är en olycklig förväxling.

Inom följande områden existerar ingenjörsmässiga metoder, som i vissa fall har begränsade användningsområden:

- stabilitet och bärförmåga
- brandtillväxt och spridning i primärt brandrum
- spridning av brand utanför primärt brandrum
- rökfyllnad, rökspridning
- avstånd mellan byggnader
- aktivering av sprinkler och detektorer
- människors utrymning av byggnader

Inom andra områden saknas fortfarande erkända beräkningsprocedurer, t ex kan man inte beräkna tid tills dess att fönster går sönder och detta innebär att vissa antaganden måste göras vad gäller tidpunkter för brandens spridning. Därför måste ingenjören utföra en enkel känslighetsanalys vad detta gäller, för att få ett mått på osäkerheten i dimensioneringen.

Dimensioneringen utifrån funktionsbaserade föreskrifter kan ske med användning av olika metoder och med olika nivå av kontroll;

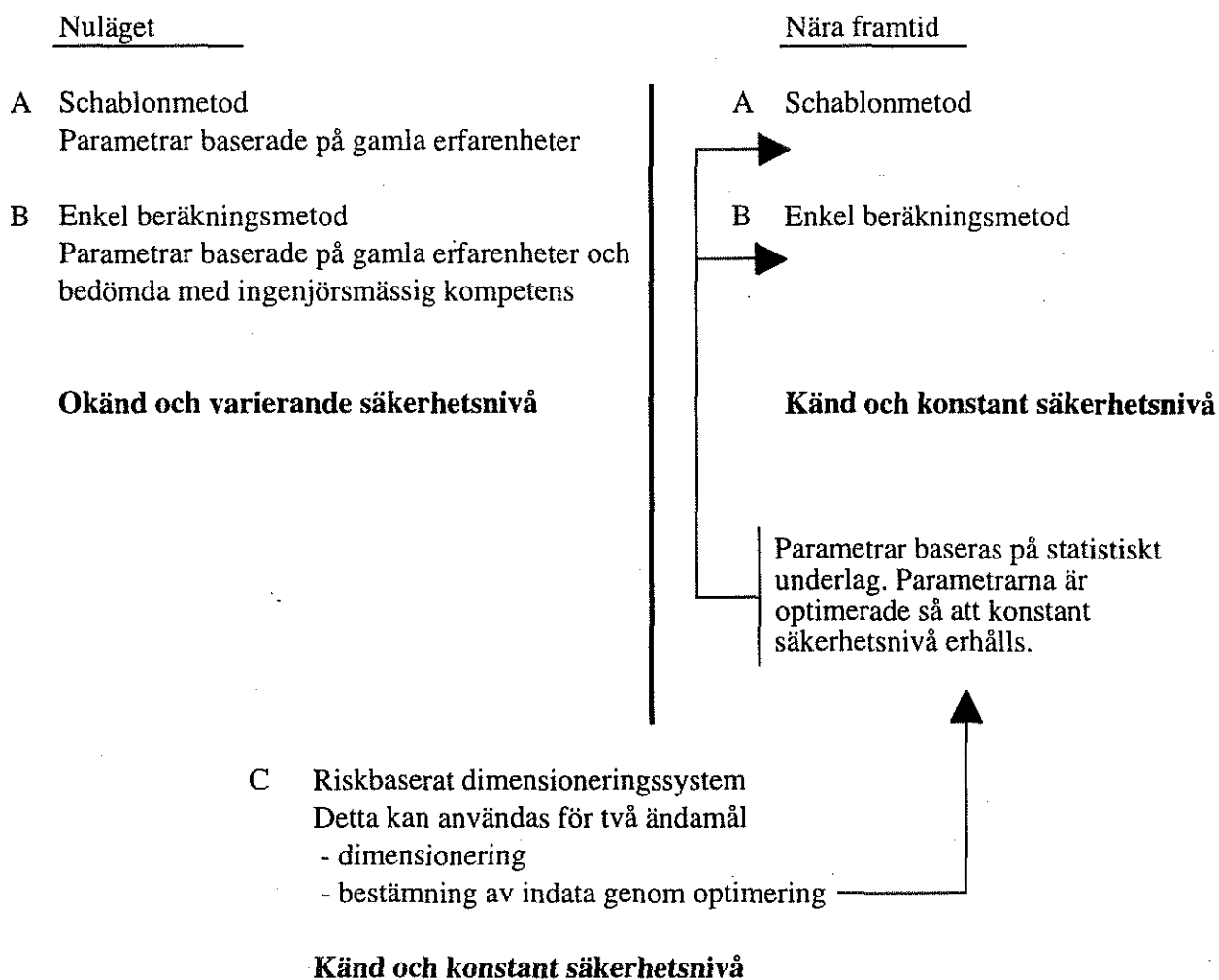
- Schablonmetod. Dimensionering med generella metoder som ger en rimlig säkerhetsnivå för ett flertal delproblem. Metoden kan använda tabeller etc som kan vara erfarenhetsbaserade. Graden av kontroll kan vara liten då metoden är enkel att verifiera och medger liten variation.
- Enkel beräkningsmetod. Dimensionering med enkla beräkningsmetoder. Val av indata bör vara givna i form av dimensionerande värden. Möjligheten att variera resultatet är större då flera parametrar kan varieras under förutsättning att ett gränstillstånd inte överskrids, t ex att lasten skulle överstiga hållfastheten. Graden av kontroll är större i detta fall jämfört med föregående. Dock är det fortfarande ganska enkelt att kontrollera att krav uppfyllts.
- Avancerad beräkningsmetod. Metoden kan användas för byggnader där indata saknas eller bedöms vara osäkra. Indata får väljas utifrån en expertgrupps utlåtande. Metoden måste bygga på fullständig statistisk analys av dimensioneringsförslaget med motsvarande gränstillstånd som för förra metoden. Variationsmöjligheterna är stora men metodens stora omfattning medför arbetskrävande kontroll.

Även andra indelningar kan göras och en sådan presenteras i kapitel 5.

Funktionsbaserade föreskrifter innebär därför inte att dimensioneringen kan gå till på godtyckligt sätt. För att dimensionera brandskyddet i en byggnad får ingenjören välja

vilken metod som han/hon vill arbeta efter. Problemet är att idag saknas en rad indata till de två senare metoderna liksom väldefinierade gränstillstånd. Det får till följd att valet av indata för projekt som genomförs idag kan verka lite chansartat då ingenjören själv måste formulera indata. För att säkerställa en acceptabel kvalitet i dimensioneringen bör val av indata ske i samarbete med myndigheter, experter eller erfarna ingenjörer på området.

Metodernas generalitet har visats på ett flertal andra områden. Den första metoden används idag ganska omfattande inom brandområdet. Metoden med den enkla beräkningsmetoden används exempelvis när bärande konstruktioner dimensioneras både med och utan brandpåverkan. Den tredje metoden kan användas för t ex dimensionering av en oljeborrplattform. Men den kan likaväl användas för dimensionering av en stor byggnad för varierande ändamål och med ett stort antal personer som besökande.



Figur 1. Översiktlig beskrivning av det nuvarande och det framtida brantekniska dimensioneringsförfarandet.

3 Utvärderingskriterier

För det tidiga brandförloppet är det personsäkerheten som prioriteras. Därför måste vissa förhållanden definieras där personsäkerheten vid brand blir kritisk. Tid till dess att kritiska förhållanden vid brand uppstår jämförs sedan med den tid det tar att utrymma byggnaden. Vid utvärdering av personsäkerheten i NKB's funktionsbaserade regler betraktas därför inverkan av ett antal parametrar på människan, dvs värmestrålning, gastemperatur, siktbarhet och mängd giftiga gaser.

3.1 Siktbarhet

I BBR-94 [2] sätts krav på brandgasskiktets höjd. Alternativt kan vissa krav sättas vad gäller siktbarhet och mängd giftiga gaser. I NKB's bestämmelser krävs en siktbarhet på minst 3 m i primärbrandcellen och 10 m i utrymningsvägarna. Denna siktbarhet mätes 2 m över högsta golvnivå. Siktbarheten antas ha följande samband med den optiska tätheten

$$\text{Siktbarhet i meter} = 10/\text{OD}$$

där OD står för optisk densitet i db/m. Den optiska densiteten kan beräknas genom användandet av handräkningsmodeller eller brandförloppsmodeller.

3.2 Värmestrålning

I NKB's bestämmelser sätts kravet att personer under evakuering maximalt får utsättas för:

- En strålningsintensitet på 10 kW/m² i maximalt 6 sekunder.
- En sammanlagd strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver energin från en strålning på 1 kW/m².

Strålningsenergin kan beräknas från

$$P = \int (I - 1) dt \quad \text{för } I > 1 \text{ kW/m}^2$$

$$P = 0 \quad \text{för } I < 1 \text{ kW/m}^2$$

där

P är strålningsenergi i kJ/m²
 I är strålningsintensitet i kW/m²
 t är tid i sekunder

I BBR-94 är kraven nästan de samma. Det första kriteriet uttrycks som "kortvarig strålningsintensitet" och 6 sekunder nämns inte.

3.3 Temperatur

Enligt NKB's regler bör personer under utrymning maximalt utsättas för en temperatur på 60° C. I BBR-94 sätts kriteriet till 80° C. Temperaturen kan beräknas med användandet av handräkningsmodeller och brandförlopps modeller.

3.4 Giftiga gaser

I NKB's bestämmelser krävs att personer under utrymning inte utsätts för skadliga doser av giftiga gaser eller för lågt syrehalt. Det anses räcka att betrakta CO, CO₂ och O₂. De följande halterna antages vara kritiska:

CO > 2000 ppm

CO₂ > 5%

O₂ < 15%.

Mängden av dessa gaser kan uppskattas genom att använda brandförloppsmodeller och även grovt uppskattas med användande av handräkningsmetoder. Modellerna har dock mycket begränsat användningsområde vad gäller sådana beräkningar och resultaten måste därför kritiskt granskas.

3.5 Andra kriterier; brandgasskiktets höjd

I BBR-94 krävs det att personer ska kunna orientera sig under hela utrymningsförloppet. Som minimum krävs att personer under utrymning inte störs av brandgasskiktet. I BBR-94 ges därför rådet att brandgasskiktet borde ligga lägst på höjden $1,6 + (0,1 * H)$ där H är rumshöjden.

Eftersom kraven för siktbarhet eller mängd giftiga gaser sammanfaller med kravet för brandgasskiktets höjd, anser BBR att det räcker att visa att senast nämnda kravet fullföljs.

4 Nuvarande metoder för brandteknisk dimensionering

De senaste decennierna har enorma framsteg gjorts vad gäller förståelse av brandprocesser och deras påverkan på byggnader och människor. Nu finns väldokumenterade handräknings metoder samt användarvänliga datorprogram tillgängliga med räknemodeller som förutsäger brandförloppet i en byggnad. Det är otvivelaktigt en fördel att kunna använda sådana modeller och handräkningsmetoder som hjälpmedel vid brandteknisk dimensionering av byggnader, både vad gäller säkerhet och ekonomi.

En av svagheterna i det nuvarande dimensioneringsförfarande är att tillförlitligheten vad gäller både modellerna och indatat i beräkningarna ej är känd i exakta siffror (se figur). Ingenjören måste utföra ett antal kompletterande beräkningar och lita på sin skicklighet för att få en känsla för tillförlitligheten. Ett omfattande arbete inom området bedrivs för närvarande vid institutionen för brandteknik vid Lunds universitet och detta arbete diskuteras i kapitel 5.

De indata som ofta har störst inverkan på beräkningarna är den sk dimensionerande branden. Vi inleder därför detta kapitel med en kort diskussion om detta ämne och ger sedan en översikt av de olika typer brandförloppsmodeller som kan användas för beräkningar av rökgaslagrets höjd, gastemperatur, strålningsintensitet osv. Några av de mest använda modellerna beskrivs kortfattat och deras tillförlitlighet diskuteras. Ett mycket förenklat exempel på beräkningarna ges. Resultaten från dessa beräkningar måste sedan jämföras med människors möjlighet att utrymma byggnaden. Kapitlet avslutas därför med en diskussion om utrymningsdimensionering.

4.1 Dimensionerande brand

När en ingenjör dimensionerar en balk vet han inte vilken last som kommer att vila på balken. Det är omöjligt för honom att dimensionera balken enligt alla tänkbara lastkombinationer. Ingenjören bestämmer därför sk dimensionerande last och ser till att balken inte kollapsar vid denna last. På samma sätt kan man säga att det är omöjligt att simulera alla tänkbara bränder i en byggnad. Ingenjören måste först bestämma sig för hur mycket material som kan tänkas brinna och hur snabbt det brinner dvs ingenjören måste bestämma en sk dimensionerande brand.

Den dimensionerande branden ges som en effektkurva, som anger hur mycket energi som utvecklas vid varje tidpunkt. Två skilda dimensioneringssituationer kan i princip uppstå. Den ena baseras på kännedom om de brännbara material och produkter som finns i lokalen, för vilka redan uppmätta förbränningsegenskaper kan utnyttjas. Den andra grundar sig på kännedom om lokalens användningsområde, där statistik om brandförlopp i olika typer av lokaler används som bas för bedömning av tillväxtprocessen.

I allmänhet måste ingenjören använda sin kunskap, erfarenhet och sunda förnuft för att bestämma den dimensionerande brandeffekten och detsamma gäller för tillsynsmyndigheten när denne ska godkänna dimensioneringen. I dagens läge finns ingen fastställd procedur, godkänd av myndigheterna, för bestämmande av den dimensionerande brandeffekten.

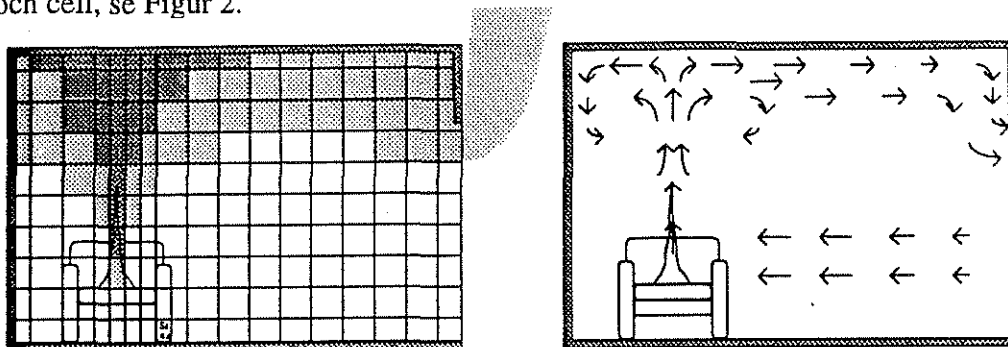
Emellertid har vissa procedurer för detta ändamål använts internationellt av praktiserande ingenjörer på området. En beskrivning av tillvägagångssättet ges i de redan citerade dokumenten [1], [3], [4], [5] och [6].

4.2 Beräkningsmodeller för brand och rökspridning

I dagens läge finns det i stort sätt tre modelltyper som förutsäger brandförloppet i ett rum; fältmodeller, två-zons modeller och handräkningsmodeller.

4.2.1 Fältmodeller (CFD-modeller)

De mest sofistikerade brandförloppsmodellerna är de sk "fältmodeller" eller CFD modeller (Computational Fluid Dynamics) där rummets volym delas upp i ett mycket stort antal cell-volymer och ekvationerna för massa och energi löses för varje tidssteg och cell, se Figur 2.



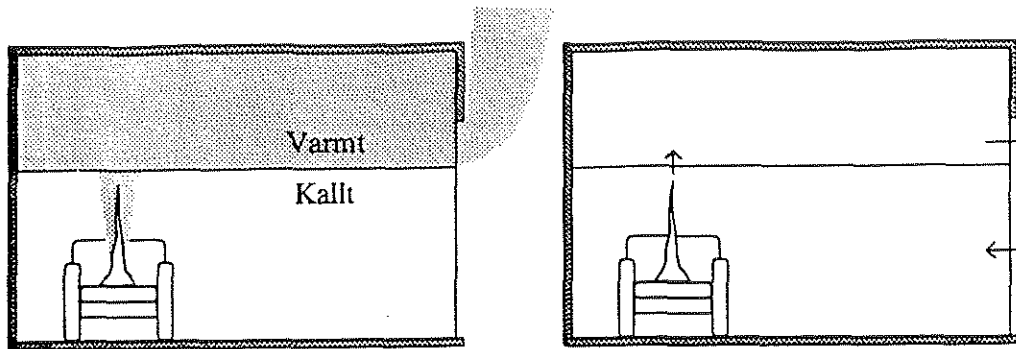
Figur 2. I fältmodellerna delas rummet in i tusentals kuber. De grundläggande kontinuitetssambanden löses för varje kub. Bilden till höger visar att gasflödena kan också räknas mycket detaljerat.

Användning av dessa modeller är enormt tidskrävande när det gäller initiering och exekveringstid på datorer och kräver dessutom expertkunnande inom bl a ämnena kontinuitetsmekanik, brandfysik, brandkemi och datorvetenskap. Inga kommersiellt tillgängliga datorprogram av denna typ finns på marknaden och de används därför mest ännu för forskning. De har dock använts för brandteknisk dimensionering av mycket stora eller komplicerade byggnader t.ex. flygterminaler och shoppingcentra. Fältmodellerna har den fördelen att man i nästan obegränsad omfattning kan simulera ventilationsöppningar, fläktar, vindpåverkan m. m., då gasernas flödesmönster simuleras i detalj.

Fältmodeller används också inom många andra ingenjörscienciner; förbränningsteknik, rymdteknik, hydrologi och kemi, för att nämna några exempel.

4.2.2 Två-zons modeller

Modeller, där rummet delas upp i två delar, den övre, varma delen och den nedre, kalla delen nämnes "två-zons modeller". Här löses ekvationerna för massa och energi för de båda delarna och för varje tidssteg (se Figur 3).



Figur 3. I en två-zons modell delas rummet i en zon för det varma rökgaslagret och en zon för friskluften. Den högra bilden visar flödet av luft och brandgaser. Som synes är flödena starkt förenklade.

Det är denna typ av modell som mest används av ingenjörer för brandteknisk dimensionering i dagens läge. Flera olika sådana modeller finns kommersiellt tillgängliga. Dessa kräver av användaren någon kunskap inom ämnena brandfysik och brandkemi. Som exempel på exekveringstid kan nämnas att det kan ta 5 -10 minuter att simulera en brand i en byggnad med 6 rum. Dessa modeller har ett begränsat användningsområde, vilket beskrivs närmare i avsnitt 4.1.4.

Exempel på två zons modeller är programmen CFAST (Jones et al [7]), DSLAYV (Hägglund [8]) och ARGOS [9]. Användaren specificerar lokalernas geometri, öppningar mellan dessa och ut till det fria, material i omslutande konstruktioner och den dimensionerande branden. Som exempel på utdata kan nämnas brandgasskiktets höjd, gastemperatur och gasernas sammansättning i varje rum som funktion av tid.

Användning av modellerna kräver kunskap inom ämnet brandfysik. Exempel på resultat från ett av programmen visas i avsnitt 4.2.5.

4.2.3 Handräkningsmodeller

De s k "handräkningsmetoderna" är en förenklad version av två-zons modellerna och bygger på en samling ekvationer som beskriver brandens tillväxt och inverkan på komponenter med hjälp av fysikaliska och empiriska samband. Förenklingarna kan t ex bestå i att brandeffekten måste antas konstant, att värmeledning genom konstruktioner försummas eller att vissa antaganden måste göras beträffande brandrummets öppningar.

I denna kategori modeller finns förenklade ekvationer för beräkning av t.ex. flamhöjd, massflöde i plymen, gastemperatur, tid till övertändning, rökfyllnad, utrymning och toxicitet. Vissa datorprogram finns kommersiellt tillgängliga där sådana förenklade ekvationer är samlade i ett programpaket. Som exempel kan där nämnas programpaketet FPETOOL (Fire Protection Engineering TOOL) som även innehåller en förenklad två-zons modell. Handräkningsmodellerna har ett begränsat användningsområde men när dessa har inprogrammerats på dator är de inte tidskrävande vad gäller exekveringstid. Metoderna kräver en viss kunskap inom ämnet brandfysik, speciellt när det gäller metodernas användningsområde och deras mest fundamentala antaganden. Dessa modeller tillåter beräkning av flamhöjd, tid till övertändning, tid till utrymning, rökfyllnad i atrium och flera storheter.

4.2.4 Två-zons modellernas begränsningar

Ett flertal studier har utförts vad gäller två-zonsmodellernas tillförlitlighet, där uppmätta värden från experiment har jämförts med modellernas resultat (se, t.ex. Hägglund [11], Hägglund [12], Yamana et al [13], Söderbom [14] och Särdaqvist [15]). Experimenten utfördes i både stora och små rum där angränsande utrymmen bestod av olika typer av rum, ofta ett flertal rum. Resultaten av dessa undersökningar visar en bra tillförlitlighet vad gäller brandrummet och de närmast angränsande utrymmen.

De som har utfört dessa studier är dock experter i ämnena brandfysik och brandkemi, har stor erfarenhet av modellering och kan därmed konsten att förenkla en något komplicerad geometri till en ekvivalent sådan som kan användas i modellerna.

Nedan nämns endast typfall av de mest uppenbara bristerna i modellernas användningsområde.

En mycket svag brand i ett stort utrymme kommer inte nödvändigtvis att resultera i en två-zons situation. En svag plym i ett stort utrymme kan leda till att brandgaserna samlas i mitten av rummet och inte under taket, vilket innebär att takventilation ej fungerar. En två-zons modell skickar brandgaserna hela vägen upp till taket och antar att brandgaserna omedelbart sprider ut sig under hela takytan. Modellen tar hänsyn till takventilation och visar en mindre farlig situation än vad som uppstår vid en verklig, svag brand.

På samma sätt kommer inte en stor brand i ett litet utrymme att leda till två-zons bildning. Brandplymens hastighet leder till turbulens och en enda "blandad" zon uppstår.

Om sprinkler utlöses kommer två-zons modellen inte längre att gälla på grund av kylning och omrörning av brandgasskiktet. I detta fall kan dock två-zons modellen antas gälla utanför det sprinklade området, i brist på noggrannare modeller.

Ovanstående kan endast betraktas som exempel på två-zonsmodellernas begränsningar. För en djup förståelse av två-zonsmodellernas begränsningar och tillförlitlighet krävs att användaren har en kunskap inom ämnena brandfysik och brandkemi samt en viss erfarenhet av att använda dessa modeller. I många dimensioneringssituationer krävs att användaren förenklar en komplicerad geometri till en enklare sådan som kan användas i modellerna. Sådan kunskap kan endast inhämtas genom att använda modellerna mycket och kritiskt utvärdera resultaten.

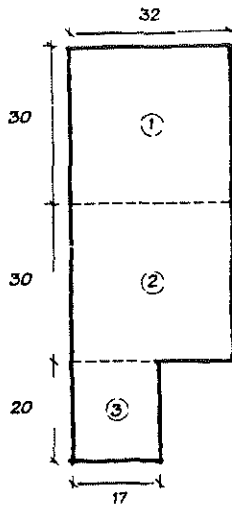
Det poängteras därför att modellerna har vissa brister, att för varje scenario måste ett flertal jämförande körningar utföras och att resultaten måste utvärderas kritiskt. Även om brandförloppsmodeller används som hjälpmedel för brandteknisk dimensionering av en byggnad måste dimensioneringen, som alltid, baseras på ingenjörsmässig och praktisk erfarenhet och sunt förnuft.

4.2.5 Enkelt deterministiskt beräkningsexempel

Som dimensioneringsexempel används en fiktiv butikslokal med dimensioner enligt Figur 4. Byggnaden har en takhöjd på 2.7 m.

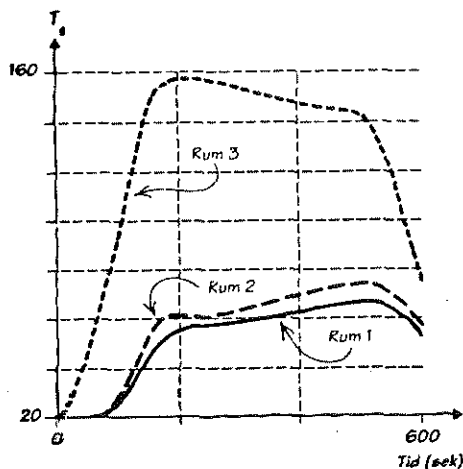
I den fiktiva butiklokalen studeras de material och produkter som kan tänkas brinna. Ett av de scenarier som måste undersökas är tänkt brand i blöj- och toalettpappersavdelningen. Enligt försöksdata med fyllda postsäckar antas tillväxthastigheten vara snabb, dvs tillväxthastigheten antas vara $\approx 190 \text{ W/s}^2$. Detta överensstämmer bra med NKB's regler.

Vid en undersökning av byggnadens innehåll framkommer att det brännbara materialet har en yta på 10 m^2 och om effekten per ytenhet antas vara 400 kW/m^2 (se värden från fullskaleförsök i t ex Ondrus [16]) blir den maximala brandeffekten 4.0 MW .



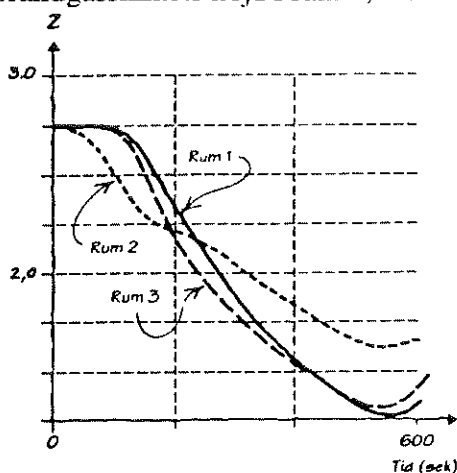
Figur 4. Butiklokalens geometri. Alla längder anges i meter [6].

I första hand antas därför det dimensionerande brandförloppet ha en snabb tillväxthastighet. Vid tiden 145 sekunder har brandeffekten blivit 4.0 MW och denna hålles konstant till tiden 600 sekunder (när brandkåren antas anlända). Vid kontrollerande beräkningar måste den maximala effekten åtminstone dubblas eller tredubblas för att undersöka hur detta påverkar beräknad tid till dess att kritiska förhållanden uppstår. Efter genomgång av ett flertal scenarier framkommer att ökning av den maximala effekten inte har stor inverkan på denna tid eftersom kritiska förhållanden uppstår redan under brandens växande fas.



Figur 5. Temperatur i övre brandgasskikt i rum 1, 2 och 3 [6].

Som beräkningsmodell används HAZARD I. Här redovisas endast resultaten för det fallet när dimensionerande brand beskrivs av tillväxthastigheten 190 W/s^2 och $q_{\text{max}} = 4.0 \text{ MW}$. Figurer 5 och 6 visar de beräknade temperaturerna (i övre brandgasskiktet) samt brandgasskiktets höjd i rum 1, 2 och 3.



Figur 6. Höjd på övre brandgasskikt i rum 1, 2 och 3 [6].

Resultaten visar att brandgasskikt i alla tre rummen kommer ner till huvudhöjd (ca. 1.9 m) vid tiden ca 220 sekunder. Kritiska förhållande, p g a rökgaslagrets höjd, anses därför uppnås vid tiden 220 sekunder. Kriteriet för värmestrålning uppnås endast i rum 1 och detta sker vid ca 210 sekunder.

Resultatet är därför att utrymning av denna lokal måste kunna ske inom ca 4 minuter efter att branden detekteras.

Det bör uppmärksammas att syftet med beräkningarna är inte att räkna fram en exakt lösning på alla möjliga brandsituationer i byggnaden utan att skaffa sig en uppfattning om konsekvenserna och underlag för bedömning av riskerna. Man kan då jämföra olika möjliga säkerhetsåtgärder med varandra, till exempel undersöka lämpligheten av ventilationsluckor i taket som öppnas vid brand och släpper ut den varma röken. Eller om likvärdig säkerhet kan garanteras med andra åtgärder, så som installering av vissa typer av brandlarm.

4.3 Beräkningsmodeller för utrymning

4.3.1 Inledning

När utrymningsvägar skall planeras och dimensioneras är det inte bara faktorer som gångavståndet till, eller bredden i utrymningsvägen som är viktiga. En utrymning karakteriseras av att man skall utföra en handling som är obekant under förhållanden som är onormala, samtidigt som graden av hot ökar. Förutom att bestämma utrymningsvägens bredd och längd måste man också bli med och se till att berörda personer uppmärksammas på faran och påbörjar utrymningen.

Det kan verka enkelt att få personer att påbörja en utrymning, men det finns en mängd både psykologiska som fysiologiska faktorer som fördröjer denna händelse. Sådana faktorer kan vara att föräldrar ser till att få med sig sina barn innan de själva börjar utrymma och att personer i större grupper ser sig om för att se vad andra gör innan de själva gör något. Det senare är vanligast om personerna i lokalen inte i förväg känner

varandra som t ex i varuhus. Fysiologiska faktorer kan vara att en persons omdöme är nedsatt p g a alkoholkonsumtion eller läkemedelsintag.

En annan faktor som påverkar utrymningen är på vilket sätt personerna i en byggnad får reda på att de skall utrymma. I många byggnader sker detekteringen genom något av sinnena lukt, hörsel eller syn men den kan även utgöras av ett automatiska brandlarm. Faktorer som påverkar utrymningen kan ibland sägas bero på inverkan från byggnaden, branden samt personen. Utgången av en utrymning beror då på hur dessa samverkar.

4.3.2 Problemet

För att ingenjörsmässigt angripa problemet, kan utrymningen delas upp i tre delar som karakteriseras av typiska aktiviteter;

- varseblivning
- reaktion och beslut
- evakuering

Dessa tre delar tar i utrymningsprocessen olika lång tid. De beror på t ex hur branden detekteras, om de som ska utrymma tidigare fått instruktioner om vad de skall göra och hur långt de måste gå för att hinna till en utrymningsväg innan kritiska förhållanden uppstår.

Det viktiga i sammanhanget är att personerna hinner ut, ur i första hand den brandcell där branden startat, innan kritiska förhållanden uppstår. Förhållandena mellan de olika delarna kan variera mellan olika byggnader beroende på byggnadens och personernas förutsättningar och vald utrymningsstrategi. Exempelvis kan man tillåta längre avstånd till en utrymningsväg om man samtidigt ser till att personerna i ett tidigt skede blir varse om att de ska utrymma, jämfört med om ingen tidig indikering förväntas ske.

4.3.3 Dimensioneringsmetoder

Utrymningsvägarna och gångvägen till dessa kan dimensioneras enligt två olika metoder

1. Dimensionering enligt schablonmetoden
2. Dimensionering genom enkel beräkning

Vilken av dessa man bör använda beror på vilken typ av byggnad som skall designas, vilka ekonomiska förutsättningar som gäller samt tillgången på data och dimensioneringsmetoder för den aktuella byggnaden. I de följande två avsnitten beskrivs de två metoderna på ett generellt sätt. Viss påverkan av texten utifrån svenska förutsättningar är oundviklig.

4.3.4 Dimensionering enligt schablonmetoden

Denna metod att dimensionera en byggnads förbindelser som används för utrymning, utnyttjar tabeller som anger tillåtna avstånd, bredder etc. Dimensioneringsvärdena blir olika för olika typer av byggnader. För byggnader med mycket människor som till exempel varuhus, biografier, stora hörsalar och liknande anges en strängare bedömning vad gäller personernas möjligheter till utrymning jämfört med t ex bostäder. Det är

naturligt då en större osäkerhet troligen råder bland personerna i ett varuhus om var utrymningsvägarna är placerade jämfört med personerna som vistas i en bostad. Utrymnings säkerheten regleras genom att gångavståndet till en utrymningsväg varierar med kategori av byggnad. Fyra olika byggnadskategorier anges, främst beroende på brand-risk och antal personer.

Om framkomlighet och överblickbarhet är goda och brandbelastningen högst 50 MJ/m² samtidigt som risken för uppkomst av brand är liten. Exempel: mekanisk verkstad.

Om persontätheten är liten samtidigt som berörda personer till största delen kan förväntas ha tillräcklig lokalkännedom. Exempel: bostad, kontor, industrilokal i allmänhet.

Om persontätheten inte är liten eller berörda personer vårdas eller har mindre god lokalkännedom eller om verksamheten medför risk för snabb brandspridning. Exempel: vårdlokal.

Om det finns särskild risk för uppkomst av brand eller risk för stor personskada. Exempel: lokal med omfattande hantering av brandfarliga ämnen.

Gångavstånden till en utrymningsväg är generellt för de fyra kategorierna 60 m, 45 m, 30 m respektive 15 m.

Även bredden i utrymningsvägen beror på vilken typ av byggnad det är frågan om. Om ett större antal personer, > ca 150 personer, befinner sig i brandcellen bör bredden i utrymningsvägen inte understiga 1,20 m. Annars är 0,90 m tillräckligt.

I vissa byggnader är det obligatoriskt att installera ett utrymningslarm och/eller ett automatiskt brandlarm. Det gäller t ex vissa av de som tillhör grupp tre ovan.

Den stora fördelen med att använda denna typ av dimensioneringsmetodik är att den är enkel att använda. Det är bara att läsa av i tabeller och göra enkla beräkningar och mätningar på en ritning. Denna metod har, åtminstone i Sverige, varit klart dominerande pga sin enkelhet vad avser granskning och kontroll. Ytterligare en faktor som talar för användningen av metoden är att den blir mycket billig att använda i projekteringsskedet av byggnaden. Den tar lite tid i anspråk. Detta kan dock visa sig vara en nackdel om byggnadens hela kostnad för utrymningssäkerheten betraktas.

Enkelheten i metoden gör också att den blir oflexibel och kan ge en säkerhetsnivå som inte står i proportion till andra byggnaders. Som exempel kan nämnas att en byggnads inre takhöjd inte beaktas vid dimensioneringen. Höga takhöjder innebär att tid till kritiska förhållanden blir längre jämfört med lokaler med låg takhöjd. Trots det måste man använda samma regler för dimensionering vilket innebär olika säkerhetsnivå. Det är ett av motiven till att använda den andra metoden för dimensionering.

4.3.5 Dimensionering genom enkel beräkning

Denna metod bygger på att jämföra tider för utrymning med tider tills dess att det inte längre blir möjligt att utrymma. Man kan kalla det att jämföra tid för utrymning med tid till kritiska förhållanden på den aktuella platsen. Denna tid kan bero på faktorer som

har att göra med temperaturen, sikten och toxiciteten i brandgaserna. Andra kriterier kan användas för att bestämma tid till kritiska förhållanden. Dock bör sådana kriterier väljas som är väl belysta i teori och försök och som är vetenskapligt vedertagna. Det bör också beaktas att människor tål brand olika och därför bör dessa kritiska faktorer väljas med stor omsorg. I detta avsnitt behandlas vidare enbart tiden för utrymning eftersom tid till kritiska förhållanden belyses i kapitel 3.

Som beskrivits i inledningen till detta avsnitt kan utrymningen delas upp i tre faser;

- varseblivning
- reaktion och beslut
- evakuering eller förflyttning.

Med tid för varseblivning menas tid från brandstart tills dess att den upptäcks. Reaktion och beslutstiden är tänkt att ta hand om tiden som förflyter mellan upptäckt och förflyttning mot säker plats. Den sista delen bestämmer hur lång tid det tar att förflytta alla personer i lokalen till säker plats. I det verkliga fallet går en utrymning självklart inte till på det viset men som ingenjör måste man kunna beskriva fenomenen på ett enkelt sätt. Utrymningsprocessen kan karakteriseras som en kontinuerlig beslutsprocess där ny information skall bearbetas och värderas till föregående kunskap för att resultera i en handling. Denna handling kan t ex vara att hjälpa andra, släcka branden, ignorera faran eller gå mot utgången. Även sociala faktorer inverkar på beslutet liksom tidigare erfarenheter av inträffade bränder. All denna information skall kunna beskrivas med tiden för reaktion och beslut.

För den projekterande ingenjören innebär det att beskriva hur lång tid de enskilda delarna i utrymningsprocessen tar. Det går att inom vissa gränser variera förhållandena mellan de tre delarna under förutsättning att den totala tiden inte förändras. Det innebär att man kan dra nytta av t ex ett installerat utrymningslarm som kortar ner tiden för reaktion och beslut vilket kan innebära att längre gångvägar till en utrymningsväg kan accepteras.

Fördelen med att använda metoden med beräkning jämfört med schablonmetoden är att det ges möjligheter att anpassa lösningen på utrymningsproblemet till de aktuella förutsättningarna. Schablonmetoden ger ju inte något utrymme för variation. Det är ytterst sannolikt att projekteringskostnaden blir större med denna metod men det kan då kanske kompenseras av att lokalerna bättre kan utnyttjas. Alternativt kan helhetslösningen bli bättre ur brukarens synvinkel även om den kanske inte nödvändigtvis blir billigare. Lämpligen ingår också en tanke på framtida verksamheter i beräkningen i form av lämpliga marginaler så att inte utrymningsdimensioneringen kraftigt begränsar annat användningsområde.

Nackdelen med denna metod är att den inte är så vanligt använd så erfarenheter från användandet är begränsad. Dessutom kräver den idag att den projekterande ingenjören har mycket goda kunskaper vad avser val av indata. Han/hon måste dessutom kunna värdera resultaten eftersom det går att räkna fram i princip vad som helst. Kan man fastställa mer exakta indata som har bestämts utifrån någon riskbedömning kan metoden bli mer använd.

4.3.6 Dimensionerande värden

Som nämndes ovan saknas en del indata till metoden med beräkning. Det gäller egentligen också för schablonmetoden men där är alla värden fastställda även om säkerhetsnivån inte är densamma mellan olika byggnader. Denna ojämna säkerhetsnivå vill man därför jämna ut med den andra metoden vilket innebär att kunskapsluckor blottläggs. Det är framför allt beskrivningen av reaktion och beslut som är osäker idag. Forskning pågår för att förbättra kunskapsläget. Det som bestämt måste göras är att ta fram dimensionerande värden när väl kunskapsläget förbättras. Detta är en process som bör ske kontinuerligt. Dagens kunskap räcker för att påbörja framtagandet av dimensionerande värden som definitivt måste bygga på riskbaserade beräkningar. Hur detta skall gå till beskrivs i följande kapitel.

5 Riskbaserad dimensionering; nuläge

5.1 Allmän bakgrund

Den allmänna beskrivningen av den nya framträdande dimensioneringsmetodiken är att den skall vara "funktionsbaserad" (på engelska "performance-based"). Vad gäller brandskydd är detta ekvivalent med att den skall vara baserad på beräknad eller uppskattad risk. Risk definieras här som sannolikheten att en eller flera människor skall omkomma vid inträffad brand. I förra fallet talar vi om individuell risk; i det senare om samhällsrisker.

Bl a följande frågor uppkommer nu

- (a) hur utvärderar eller beräknar vi risk?
- (b) hur varierar utvärderingsmetoder med val av systemnivå eller dimensioneringsnivå? Exempel på olika nivåer utgör t ex
 - riskberäkning för en hel byggnad med stort antal rum
 - riskberäkning för ett delsystem, exempelvis ett delsystem för begränsning av brandutbredning
 - riskberäkning för en enstaka skyddskomponent, t ex ett sprinklersystem
- (c) vad är länken mellan riskberäkningsprocedurer och beräkningsgång för dimensionering? Exaktare uttryckt: Hur skall indata väljas i en beräkningsgång så att slutresultatet återspeglar en förutbestämd risknivå?
- (d) riskberäkning innebär beräkningar baserade på modeller och parametrar som karakteriseras av osäkerhet. Parametrar som förbränningshastighet (brandeffektkurva), antal människor/m² golvyta, människors reaktionsmönster m.fl. är inte kända deterministiskt utan måste beskrivas som stokastiska (slumpvisa) med hjälp av statistiska fördelningar. I vilken utsträckning existerar denna nödvändiga databas för väldefinierade klasser av byggnader som flervåningsbostadshus, kontor, hotell, vårdanläggning, etc?
- (e) vilka metoder tillgriper vi för att beräkna risknivåer för enstaka, stora och komplexa objekt av typ stora underjordiska anläggningar, sportanläggningar, värmekraftverk?
- (f) vad är inverkan av stora fel, dvs av att skyddssystem inte fungerar eller att parametrar (ex.vis brandtillväxt) antar värden som ligger helt utanför de statistiska fördelningar som utgör basen för våra beräkningar?

Frågeställningarna (a) - (f) ovan har intill helt nyligen inte undersökts via en strukturerad och kvantifierad metodik. I allmänna och kvalitativa ordalag har ovanstående frågeställningar beskrivits och debatterats i ett antal tekniska vägledningar, av vilka BSI Draft Guide [3] utgör det främsta dokumentet. Dessutom existerar ett antal arbeten där olika forskare med olika kvantitativa ad hoc-metoder angriper speciella frågeställningar eller dimensioneringsproblem.

I en rapport helt nyligen utgiven av institutionen för brandteknik, LTH har ett försök gjorts att för första gången övergripande och sammanhängande diskutera de flesta av problemställningarna ovan. Rapporten "Fire Safety Design Based on Calculations. Uncertainty Analysis and Safety Verification" av Magnusson/Frantzich/Harada (MFH) [17] strukturerar området, beskriver olika beräkningsmetoder och redovisar kvantitativa resultat.

Vi kommer att i den fortsatta utredningsrapporten hänvisa till publikationen (MFH). Denna rapport till NKB skall emellertid gå att läsa fristående. Sammanfattning av delar av MFH ges i ett appendix. De 7 delkapitlen i appendix har rubrikerna

- A1 Beskrivning av händelsesträd
- A2 Definition av säkerhetsmarginal
- A3 Beskrivning av komponenter i säkerhetsmarginal
- A4 Använda standardfördelningar
- A5 De 8 scenarierna
- A6 Utvärdering av säkerhetsnivåer
- A7 Länk riskberäkning - dimensionering

5.2 Hur beräknas risk?

Risk definieras här som produkt av sannolikhet och konsekvens. För den individuella risken ingår begreppet sannolikhet på två nivåer

- som sannolikheten för att brand skall uppkomma
- som sannolikheten för att en livshotande miljö skall uppkomma i utrymningsväg innan samtliga människor i byggnaden evakuerat densamma och minst en människa omkomma

Samhällsrisk beräknas på grundval av sannolikhet för brands uppkomst x antal offer vid inträffad brand. Gränsvärden och gränskurvor har exempelvis angivits i ovan nämnda BSI-dokument. Vi kommer i fortsättningen begränsa oss till begreppet individuell risk.

5.3 Olika metoder att verifiera en dimensionering

Det existerar ett stort antal riskberäkningsmetoder, se exempelvis huvuddel IV av SFPE-handboken [18]. Vi skall här inskränka oss till generella metoder som uppfyller minst två kriterier. Metoderna skall

- ha varit använda och validerade inom andra ingenjörsområden
- lämna resultat som lämpar sig för att användas i praktisk dimensionering

Val av metod kommer då att dikteras av svaren på ett antal frågor

- skall vi använda datormodell eller analytiska uttryck?
- skall vi behandla ett enskilt scenario eller brandfall, flera (något tiotal) scenarios eller ett mycket stort antal sådana (storleksordningen hundratal)?

- skall osäkerhetsanalys ingå explicit?

Val av metod att verifiera en vald utformning beror dessutom på åtminstone två faktorer:

- hur är kriterierna ställda?
- hur ser beräkningsmodellen ut?

Låt oss ta utrymning från en offentlig lokal som exempel, se appendix, där dimensioneringen baseras på begreppet risk (eller säkerhet). Krav på risknivå kan uttryckas implicit eller explicit. Låt oss betrakta några olika metoder att verifiera att en viss säkerhets- eller risknivå är uppfylld (se också appendix, avsnitt A6).

M1: Schablonmetod. Dimensionering med specificerade indata och metoder som ger en rimlig säkerhetsnivå för ett flertal delproblem. Indata och beräkningsmodell kan t ex väljas av nationella standardiseringsgrupper på subjektiva grunder. Metoden kan använda tabeller etc som kan vara erfarenhetsbaserade. Graden av kontroll kan vara liten då metoden är enkel att verifiera och medger liten variation.

I nuvarande läge är uppnådd säkerhetsnivå okänd. Ett typexempel på existerande standard är NFPA 92 "Smoke management of atria" [19]. Andra exempel utgör punktsystem för exempelvis amerikanska vårdanläggningar samt traditionell utrymningsdimensionering enligt tidigare svenska byggnormer.

M2: Metod baserad på viss statistiskt underlag.

Val av dimensionerande indata är här baserat på viss statistiskt underlag. Beräkningsmodellen kan antingen vara specificerad eller vald godtyckligt om vissa allmänt formulerade valideringskrav är uppfyllda. Säkerhetsnivå är okänd men kalibrering av förfarandet (val av dimensionerande indata plus beräkningsmodell) sker genom jämförelse med användning av traditionella, preskriptiva metoder. Teoretiskt skulle ett kalibreringsförfarande kunna utformas sålunda:

- a) definiera ett utslagsgivande scenario
- b) välj utformning på skyddssystem, planlösning, etc så att de preskriptiva bestämmelserna efterlevs
- c) specificera en beräkningsmodell och välj indata subjektivt så att utformningen på brandskyddet enligt b) ger acceptabel säkerhetsnivå när beräkningsmodellen appliceras. Säkerhetsnivå kan t ex mätas som tidsmarginal vid utrymning

Med största sannolikhet fungerar inte detta i praktiken. Skälen är bl a följande:

- Indata blir inte entydigt bestämda. Ett scenario i en byggnad med andra geometriska förhållanden, än de kalibrerade, kan få annan säkerhetsnivå även om beräkningsförutsättningarna i övrigt är lika.
- Ändras scenariet måste den godkända kombinationen av indata ändras.
- Byts beräkningsprogrammet ut mot ett annat måste indatakombinationen ändras.

Den viktigaste invändningen är emellertid att skalan av godkända preskriptiva lösningar är stor och täcker ett brett variationsområde vad gäller säkerhetsnivå. Slutsatsen blir alltså att om man inte är beredd att detaljspecificera och detaljreglera ett mycket stort antal beräkningsförfaranden kommer valet av godkända lösningar att leda till godtyckliga och okända säkerhetsnivåer samtidigt som den åstundade flexibiliteten försvinner.

M3: Tillförlitlighetsbaserad dimensionering (enstaka analytiska uttryck)

Val av beräkningsmodell är godtycklig bara modellosäkerheten är kvantifierad. Kriteria är en angiven risknivå och de i standarden angivna dimensionerande värdena har med statistisk metodik beräknats med utgångspunkt från denna risknivå. Metoden kräver att indata specificeras som statistiska fördelningar men enbart medelvärde och standardavvikelse används vid beräkning av dimensionerande värden (= de två första statistiska momenten.) Säkerhetsnivå kan uttryckas antingen genom fel- eller brottrisen P_f eller som säkerhetsindex β mellan vilka det finns ett enkelt samband. Denna metod kallas metod A i MFH. Se vidare A6 och Kapitel 9 i MFH.

Gränstillståndet måste uttryckas via en analytisk ekvation, som kan vara antingen en direkt beskrivning av den fysiska situationen, t ex massflöde i en plym, eller via statistiska metoder härlett från ett datorprogram (s.k. responsytor eller metamodeller). Kravet att gränstillståndet måste beskrivas via ett analytiskt uttryck är inte den begränsning som man kanske först antar. Vår erfarenhet är att metoden med responsytor fungerar tillfredsställande i många praktiska fall.

Det är egentligen bara vid metod M3 som det är möjligt att rationellt diskutera säkerhetsfaktorer. Eftersom beräkningarna direkt ger dimensionerande värden är det emellertid inte särskilt meningsfullt att använda begreppen säkerhetsfaktor eller partialkoefficient överhuvudtaget. Det bör observeras att om man via statistisk analys av utdata från datorprogram härlett ett ersättningsuttryck (responsytor) och härlett dimensionerande värden från en given säkerhetsnivå kan samma dimensionerande värden användas i datorprogrammet för detta scenario. Begreppet säkerhetsfaktorer (partialkoefficienter) behandlas närmare i avsnitt 6.

M4: Felrisk beräknad genom numerisk simulering (Monte Carlo-metoder)

Ofta kan dimensioneringsproblemet ej uttryckas genom ett enstaka analytiskt uttryck (eller med andra ord genom att en ekvation sätts = 0). Praktiska exempel inkluderar samtidig utvärdering av mer än ett scenario (t ex ett händelseträd med olika typer av aktiva skyddssystem) eller mer än ett gränstillstånd (exempelvis kritisk nivå på röktemperatur/genomsiktighet). Felrisken får då beräknas genom en numerisk simulering, s.k. Monte Carlo-metoder. Metoden kan t ex användas för att beräkna felrisk när dimensionering kräver utvärdering av händelseträd med måttligt antal grenar (scenarior) och bygger på att indata är statistiskt beskrivna. Se vidare MFH och A6 i appendix.

Metoden M4 är alltså en riskberäkningsmetod, dvs en metod att beräkna risknivåer för en existerande eller planerad byggnad. Det omvända problemet, dvs att dimensionera för en specificerad säkerhet, får göras iterativt.

M5: Utvärdering av stora händelseträd

Vid t ex brandteknisk utvärdering av en industriell anläggning är antalet "grenar" på händelseträdets mycket stort (flera tusental) och metoden M4 blir för beräkningskrävande. Indata får här specificeras deterministiskt. För varje scenario ("gren") erhålls som slutresultat dels en konsekvens (utfall), dels en sannolikhet för detta utfall. Med andra ord: resultatet blir en statistisk fördelning som kan användas för att avgöra om uppställda kriterier är uppfyllda eller inte. Se vidare MFH, avsnitt 10.5.

Metoden M5 kan betecknas som standard eller "deterministisk" PRA (probabilistic risk assessment).

5.4 Allmänt om partialkoefficienter

Avsnitten A6 och A7 i appendix visar hur den s k säkerhetsindexmetoden eller FOSM-metoden direkt ger de dimensionerande värden = de värden där sannolikheten att fel eller brott uppträder är som störst. Ingångsdata är här de fullständiga statistiska fördelningarna. Beräkningsmetoden producerar alltså

- felsannolikhet P_f eller (ekvivalent) säkerhetsindex β
- den mest sannolika punkten för att gränstillståndet = 0. Denna punkt kallas den dimensionerande punkten och har koordinaterna $x^* = (x_1^* \dots x_n^*)$.

Utvärdering av β och x^* kan ske antingen för en hel klass av byggnader med exempelvis golvhöjder A och rumshöjder H liggande inom ett visst intervall eller för en given byggnad med givet A och H. I en dimensioneringssituation är frågeställningen: Utgå från en given byggnad med givet A och H och en given säkerhetsnivå (β och/eller P_f) och beräkna exempelvis utrymningsbredden W så att detta β uppnås. En metod är naturligtvis att utgå från de statistiska fördelningarna, använda FOSM-metoden och iterativt nå fram till det nödvändiga värdet på W. Projektörer och myndigheter kräver emellertid en dimensioneringsmetodik som är mer transparent och lättanvänd. Den konventionella ingenjörsmetoden är då att göra dimensioneringen med utgångspunkt från s k dimensionerande värden $x_{i,d}$ valda på ett sådant sätt att vald säkerhetsnivå uppnås. Dimensionerande värden $x_{i,d}$ skrivs vanligen

$$x_{i,d} = \gamma_i x_{i,ch}$$

där γ_i kallas partialkoefficient och $x_{i,ch}$ är det karakteristiska värdet (vanligen 50%, 80% eller 90% fraktilen av motsvarande fördelning).

$x_{i,d}$ och x_i^* är två uttryck för samma sak, den punkt där det är mest sannolikt att gränstillståndet uppnås. Olika beteckningar används för att beräkningssituationerna skiljer: x_i^* erhålls vid en riskvärdering, $x_{i,d}$ skall ges som indata vid en dimensionering.

En dimensioneringsanvisning skall täcka ett stort antal byggnader med stora variationsområden för A och H. Det blir därför nödvändigt härleda vektorn $x_d = (x_{1,d} \dots x_{n,d})$ via en optimeringsprocess, som inbegriper hela detta spektrum. Förfaringssättet framgår bäst genom ett praktiskt exempel.

5.5 Algoritm för bestämning av partialkoefficienter

Låt oss betrakta scenario 6 i appendix. Gränstillståndsekvationen kan skrivas

$$G = 1.67 \alpha^{-0.26} H^{0.44} A^{0.54} M_S - 5.36 \alpha^{-0.478} H^{0.7} M_D - R - E \cdot M_E$$

$G = G(N, R, \alpha, M_D, M_E, M_S, \text{deterministiska parametrar})$

$G > 0$ innebär säker zon

MHF visar hur säkerhetsindex β och felsannolikhet P_f varierar med olika antaganden på fördelningar och för olika bredder W på utrymningsdörr (se figur 7 och tabell 1), som är återgivna nedan.

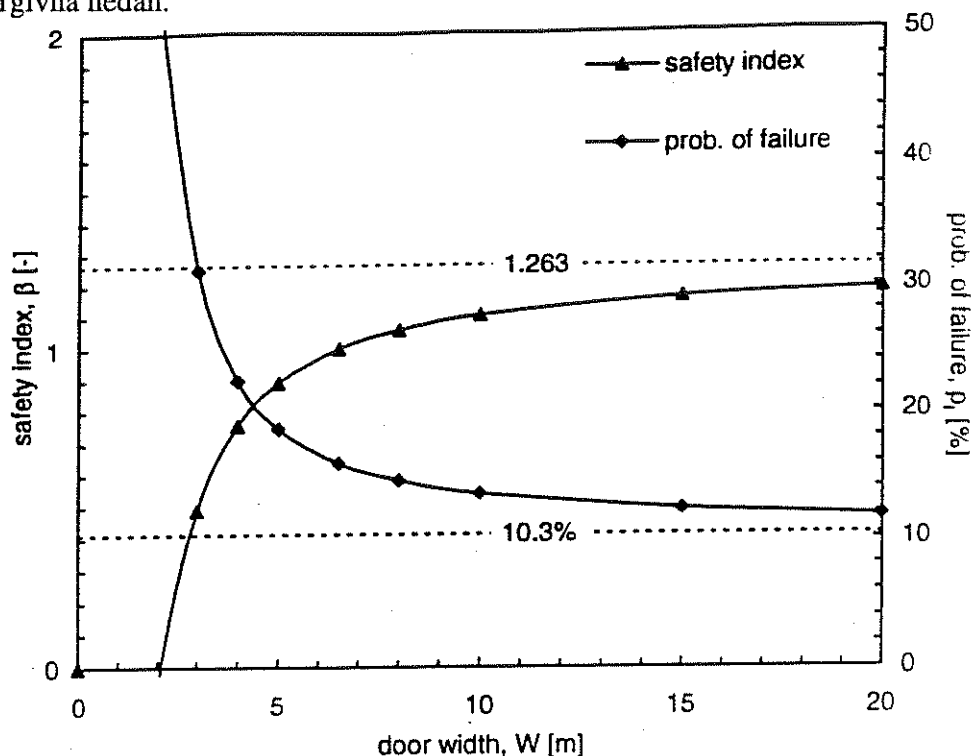


Figure 7. Safety index β and probability of failure with FOSM method for scenario 6.

Table 1. Scenario 6. Derivation of p_f , β and design point values for a variation of area (200 - 1600 m²) and height (3 - 8 m).

Height, Area	p_f	β	α^*	N^*
3, 200	68.6	-0.48	0.047	0.64
5, 200	59.8	-0.25	0.049	0.65
8, 200	52.5	-0.06	0.05	0.66
3, 1000	33.7	0.42	0.056	0.69
5, 1000	19.8	0.85	0.06	0.71
8, 1000	11.2	1.22	0.062	0.72
3, 1600	33.7	0.42	0.057	0.7
5, 1600	17.7	0.93	0.063	0.74
8, 1600	8.5	1.38	0.066	0.75
m, m ²	%		kW/s ²	Pers/m ²

I en dimensioneringssituation är problemet det omvända: att med utgångspunkt från angivna dimensionerande värden på N , α , R , M_D , M_E och M_S beräkna ett W så att en viss säkerhetsnivå β eller P_f erhålles. De dimensionerande värdena på N , α , R , M_D , M_E och M_S skall gälla för hela klassen av byggnader med olika höjder H och golvareor N . Antag att populationen av byggnader vad gäller H och A definieras av tabellen 1, dvs $3 \text{ m} < 4 < 8 \text{ m}$, $200 \text{ m}^2 < A < 1600 \text{ m}^2$. Vi har då enligt tabellen 1 möjliga kombinationer av (H, A) . Uppgiften är nu att fastställa

N_d , α_d , R_d , $M_{s,d}$ och $M_{D,d}$

så att avvikelserna i säkerhetsnivå från ett givet β_{fix} minimeras över dessa 9 kombinationer. Vi förutsätter nu att M_E är lika med 1.0. Låter vi vektorn $\bar{\gamma} = (\gamma_N, \gamma_\alpha, \gamma_R, \gamma_{M_S}, \gamma_{M_D})$ beteckna kvoten mellan dimensionerande värde och karakteristiskt värde (exempelvis 80% fraktilen) kan detta skrivas:

Bestäm vektorn $\bar{\gamma}$ så att

$$\sum_{i=1}^9 (\beta_i(\bar{\gamma}) - \beta_{fix})^2$$

minimeras.

Uttrycket för att beräkna den sökta storheten W (dörrbredd) ges av

$$W = \frac{NA}{F} \cdot \frac{1}{1.67 \alpha^{-0.26} H^{0.44} A^{0.54} M_S - 5.36 \alpha^{-0.478} H^{0.7} M_D - R}$$

Algoritmen för att beräkna $\bar{\gamma}$ kan nu skrivas

1. Välj utgångsvärden på $\bar{\gamma}$ och karakteristiska värden (= specificera fraktil)
2. Lös ut de 9 olika värdena på W (deterministiskt)
3. Beräkna de 9 β -värden enligt proceduren i appendix A i MFH
4. Beräkna kvadratsumman av avvikelserna
5. Gå in i en optimeringsalgoritm som iterativt räknar fram den vektor $\bar{\gamma}$ som minimerar avvikelserna
6. När de slutliga värdena på $\bar{\gamma}$ erhållits produceras givetvis samtidigt de dimensionerande värdena

6 Allmänna rekommendationer för nödvändig fortsatt forskning

Vi skiljer mellan två olika kategorier av byggnader eller anläggningar:

Kategori A: En hel klass av byggnader, exempelvis kontor, hotell, flerfamiljshus, samlingslokaler för vilka det går att definiera en karakteristisk geometri och planlösning och för vilka det existerar ett viss statistiskt underlag beträffande geometri, brandbelastning, brandförlopp, antal människor och deras rörlighet, etc.

Kategori B: Enstaka, komplexa och i regel mycket stora anläggningar som till stor del är unika i sin geometri och planlösning.

Kategori A

Löpande SBUF- och Brandforskprojekt har sin tyngdpunkt inom detta område. Efter dessa projekts genomförande kommer ett antal viktiga och förmodligen, för metodens praktiska användning, avgörande frågor att kvarstå. Var och en av dessa representerar, även med en minimal ambitionsnivå, ett större projekt. Några exempel:

1. Metoder att ta hänsyn till stora fel ("gross errors")
2. Genomföra de optimeringsstudier med användning av metod M3 (se kapitel 5.3) som är nödvändiga för att härleda dimensionerande värden att använda vid dimensionering enligt M1 och M2 (se kapitel 5.3).
3. Metoder att bestämma modellosäkerheter på ett sådant sätt att resultatet kan användas för en sannolikhetsbaserad dimensionering.
4. Metoder att bestämma dimensionerande värden och säkerhetsindex β för skyddssystem med ett antal serie- eller parallellkopplade delsystem.
5. Metoder att känslighetsanalysera beräkningsmodeller byggda på användning av datorprogram.

Kategori B

1. Användning av PRA (probabilistisk risk assessment) på några viktiga anläggningar. Projektet syftar till att belysa den praktiska användningen vad gäller brandrisker av den "konventionella" PRA-metodiken sådan den utvecklats inom kärnkrafts-, process- och offshore-industrin. Följande moment ingår:
 - identifikation av riskkällor
 - identifiering av system och säkerhetsfunktioner
 - beräkning av olycksfallsförlopp
 - beräkning av konsekvenser (personskada, egendomsskada)
 - beräkning av sannolikheter
 - integration av sannolikhet och konsekvens till ett riskmått
 - jämförelse med riskkriterier

Lämpliga objekt kan vara exempelvis stora underjordiska anläggningar, tunnlar, färjor, komplicerade affärcentra, etc.

2. Metoder för riskidentifiering och sannolikhetsberäkning.
En PRA av brandsäkerheten enligt punkt 1 kräver identifiering av riskkällor och beräkning av sannolikheten att riskkällan aktiveras. En systematisk genomgång bör göras av användning av exempelvis FMEA, HAZOP, trädmetoder. Projektet är givetvis lika viktigt för byggnader av kategori A.

7 Förslag till specificerat NKB-projekt

Mål

Generellt är målet att undersöka den praktiska användbarheten av metoden med partialkoefficienter. Mer specifikt är målet att för praktiskt viktiga scenarier beräkna dimensionerande värden för de utslagsgivande parametrarna på grundval av specificerade säkerhetsnivåer och sannolikhetsfördelningar.

Bakgrund

Inom pågående svenska projekt genomförs för närvarande två projekt som avser att studera grunderna för en brandteknisk dimensionering baserad på beräkningar. Som redovisades i avsnitt 6 kommer även efter dessa projekts slutförande att kvarstå ett antal viktiga forskningsuppgifter. Speciellt viktiga är uppgiften A2, dvs metoder att härleda partialkoefficienter (dimensionerande värden). Det är först när denna fråga lösts som det är möjligt att rationellt uttala sig om dimensioneringssättets praktiska användbarhet sett i relation till specifikationsbaserade bestämmelser.

Genomförande

Uppgiften består i att producera "användbara" partialkoefficienter. Detta är slutmålet. För att nå dit fordras bl a vad gäller indata

- modeller och modellosäkerheter specificeras
- specificerade sannolikhetsfördelningar för utslagsgivande parametrar

Dessa uppgifter löses inom ramen för pågående forskning och internationellt samarbete. I NKB-projektet kan för ett och samma scenarie skisseras följande delforskningsuppgifter

- definiera scenariets omfång vad gäller val av planlösningar och geometriska data
- välja lämpligt analytiskt uttryck för dimensioneringen
- bestämma format, dvs bestämma vilka variabler som ska föras med partialkoefficienter
- välja acceptabel säkerhetsnivå (β - eller P_f -värde)
- beräkna kalibrerade partialkoefficienter enligt avsnitt 5.5
- verifiera att de framtagna partialkoefficienterna fungerar praktiskt genom att dimensionera ett antal byggnader
- känslighetstesta hela ovanstående procedur med avseende på bl a
 - val av standardfördelningar
 - val av säkerhetsnivå
 - val av minimerad objektsfunktion
 - osv

Referenser

- [1] "Funktionsbestemte brandkrav og Teknisk vejledning for beregningsmæssig eftervisning", NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1994:07, ISBN 951-53-0024-X, Helsinki, 1994.
- [2] "Boverkets Byggregler 94", Boverkets författningssamling, ISBN 91-38-12851-9, Stockholm, 1993.
- [3] Draft British Standard Code of Practice for The Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Building, BSI 1994.
- [4] Fire engineering design guide. Buchanan, A.H. ed, Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury, New Zealand, July 1994.
- [5] Microeconomic Reform: Fire Regulation. Building Regulation Review Task Force, May 1991.
- [6] "Brandskydd, teori och praktik", Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik, ISBN 91-630-2875-1, Stockholm, 1994.
- [7] Jones, W.W., Peacock, R.D., "Technical Reference Guide for FAST Version 18". National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland; 1989.
- [8] Hägglund, B., "Simulating Fires in Natural and Forced Ventilated Enclosures". National Defence Research Institute, Stockholm; 1986.
- [9] ARGOS, Users Guide. Danish Institute of Fire Technology, 1991.
- [10] Nelson, H.E., "FPETOOL: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Estimation", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.
- [11] Hägglund, B., "Smoke Filling Experiments in a 6*6*6 meter Enclosure", FOA Report C 20585-D6, ISSN 0347-3694, Stockholm, 1985.
- [12] Hägglund, B., "Comparing Fire Models With Experimental Data", FOA Report C 20864-2.4, ISSN 0347-3694, Sundbyberg, 1992.
- [13] Yamana, T., Tanaka, T., "Smoke Control in Large Spaces", Fire Science and Technology, Vol 5, No. 1, Tokyo, 1985.
- [14] Söderbom, J., "Smoke Spread Experiments in Large Rooms. Experimental Results and Numerical Simulations", SP REPORT 1992:52, ISSN 0284-5172, Borås, 1992.
- [15] Särndqvist, S., "Valideringsberäkningar av Fire Simulator", Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 1993.
- [16] Ondrus J., "Brandförlopp", Inst för brandteknik, LTH, Lund, 1990.

- [17] Magnusson, S.E., Frantzich, H., Harada, K., Fire Safety Design Based on Calculations. Uncertainty Analysis and Safety Verification. Rapport 3078 Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 1995.
- [18] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, SFPE, Boston, Massachusetts, 1990.
- [19] NFPA 92B, "Recommended Practice for Smoke Management in Atria and Malls", National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1991.

Ordlista

deterministisk	en deterministisk variabel antar bara ett värde, t ex dörrbredd = 2.5 m
dimensionerande punkt	uppsättning av designvariabler som troligast hålls om brott inträffar dvs då $G = 0$
gross errors	t ex felaktiga metoder vid projektering
gränstillstånd	ekvation som beskriver säkerhetsmarginalen
händelsetråd	se figur A1
metamodell	se responsyta
partialkoefficient	statistiskt vald säkerhetsfaktor
responsyta	ekvation som t ex via regressionsuttryck beskriver en mer komplex procedur, se t ex ekvationer i kapitel 5.5 som består av flera responsytor och beskriver bl a tid till kritiska förhållanden, ekvationerna är en förenkling av resultat från datormodellen CFAST
statistisk fördelning	beskriver hur variabelns värde kan beskrivas, t ex är kroppslängden på befolkningen inte entydligt bestämd utan varierar enligt en statistisk fördelning
stokastisk	en stokastisk variabel antar värden slumpmässigt efter ett givet mönster som bestäms av variabelns statistiska fördelning
säkerhetsmarginal	skillnad mellan t ex tid till kritiska förhållanden och utrymningstid
β värde	(medelvärde/standardavvikelse)

Appendix

Sammanfattning av rapporten "Fire Safety Design Based on Calculations" av Magnusson-Frantzich-Harada

Hämtad till stor del från en laborationshandledning i kursen "Statistik för brandingenjörer", författad av Per Erik Isberg vid Statistiska institutionen, Lunds Universitet. I detta exempel är inte modellosäkerheterna medtagna i ekvationen för gränstillståndet $G(\cdot) = 0$.

A1 Beskrivning av händelseträd

Det vi skall beskriva är säkerhetsmarginalen vid en brand i det enskilda rummet. Som exempel på byggnader som kan innehålla denna typ av rum kan nämnas teatrar, biografer, kyrkor, sporthallar, osv. De olika scenarierna definieras utifrån olika förutsättningar vad gäller larm, sprinkler och nödutgångar. De olika möjligheterna kan ses i nedanstående händelseträd.

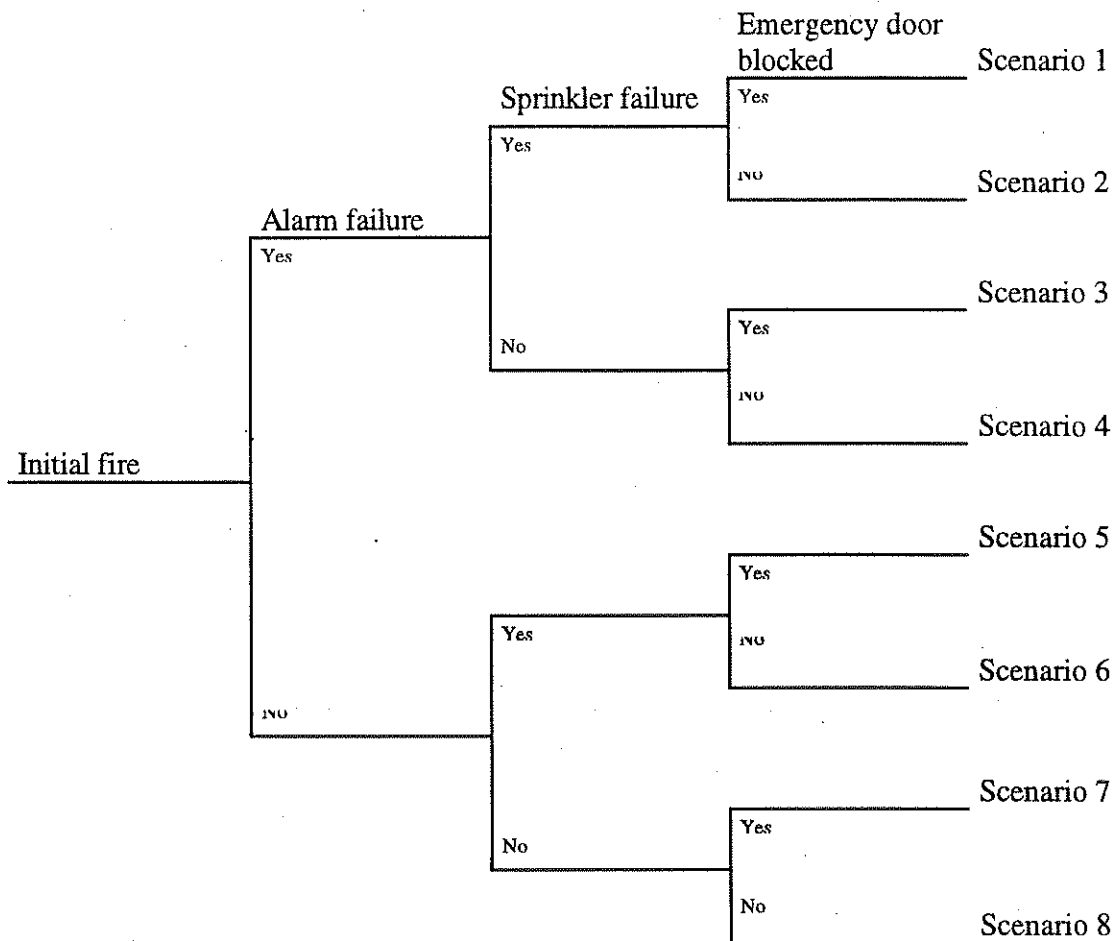


Figure A1. Event tree describing the eight scenarios.

A2 Definition av säkerhetsmarginal

Säkerhetsmarginalen beskrivs av följande relation:

$$G = S - D - R - E \geq 0 \quad (A1)$$

där

S = Tid för rökfyllnad upp till 1.6 m över golvnivå (sekunder). Denna tid påverkas av om rummet är utrustat med sprinkler eller ej. Andra variabler som påverkar är brandens tillväxthastighet (α), golvytan och rummets höjd.

D = Detektionstid (sekunder). Tiden beror på typ av rum, om det finns brandlarm, rummets höjd och brandens tillväxthastighet.

R = Respons- och aktivitetstid innan evakuering (sekunder). Beror på vilken typ av utrymningslarm som det finns i byggnaden. Det finns även en del andra faktorer som kan tas i beaktande t.ex. typ av rum, antal rum, tidigare utrymningsträning och rumsyta. Informationen som används i beräkningarna kommer från en undersökning bland svenska brandbefäl.

E = Förflyttelsetid (sekunder). Beräknas i princip som den tid det tar för en folkmassa att passera genom ett dörrutrymme. Denna tid beror på antal tillgängliga dörrar, deras bredd och antal personer i rummet.

Vi kommer att anta att rummet har fyra utgångar. Varje dörr har en bredd på 1.2 m. Detta ger en total dörrbredd på 4.8 m. I fyra av de åtta scenarierna blir en av dessa dörrar blockerad. Detta sker i scenarierna 1, 3, 5 och 7.

Komponenterna S , D , R och E är samtliga stochastiska variabler, antingen i sig eller som en funktion av mer grundläggande parametrar. Innebörden är att S , D osv beskrivs av olika sannolikhetsfördelningar.

A3 Bestämning av deltermer i säkerhetsmarginal

Komponent S

Rökfyllnadstiden beräknas ur följande relation:

$$S_1 = 1.67\alpha^{-0.26}H^{0.44}Area^{0.54} \quad (A2a)$$

där

α = Brandens tillväxthastighet (kW/s²)

H = Takhöjd (m)

$Area$ = Golvyta (m²)

Uttrycket ovan gäller för de situationer där det inte finns något fungerande sprinklersystem. Om sprinklersystemet fungerar används relationen:

$$S_2 = 0.025\alpha^{-0.114}H^{0.457}\text{Area}^{1.28} \quad (\text{A2b})$$

För en detaljerad beskrivning av hur konstanterna är framräknade se Appendix D-E i den ovan nämnda rapporten.

Komponenterna D och R

Uttrycken för D och R varierar med valt scenario, se nedan

Komponent E

Tid för folks rörelse ut ur rummet beräknas med hjälp av följande uttryck:

$$E = \frac{N * \text{Area}}{F * W} \quad (\text{A3})$$

där

N = Persontäthet (personer/m²)
 Area = Golvyta (m²)
 F = Flödeskapacitet genom dörrarna (personer/m·s)
 W = Dörrbredd (m)

A4 Använda standardfördelningar

Om inget annat anges skall följande standarduppsättning av fördelningar användas för de olika komponenterna och delkomponenterna.

α - Uniform (0.001,0.1) - (kW/s²)

H - Uniform (3,12) - (m)

Area - Uniform (200,1200) - (m²)

D₁ - Lognormal (10, 5) - (s)

R₁ - Lognormal (300, 300) - (s)

N - Triangulär (0.1, 0.8, 1.0) - (per/m²)

F - Normal (1,0.001) - (per/m²)

W - 3.6 (Konstant) - (m)

De olika scenarierna innebär att vi varierar de olika fördelningarna och konstanterna.

A5 De åtta scenarierna

Scenario 1

Detta är det värsta fallet där ingen säkerhetsutrustning finns tillgänglig. Larm och sprinklersystem finns ej installerade/fungerar ej. En av fyra tillgängliga evakueringsdörrar är blockerade. Använd standarduppsättningen vid simuleringen. Rökfyllnadstid bestäms av relation S_1 .

Scenario 2

Alla utgångar finns nu tillgängliga. Detta gör att den totala dörrbredden nu ökar till 4.8 m. I övrigt är allt detsamma som vid scenario 1.

Scenario 3

Skillnaden mot scenario 1 är att sprinklersystemet nu fungerar. Detta innebär att det tar längre tid för komponent S att nå den kritiska tiden. Rökfyllnadstiden beräknas nu ur relation S_2 . Liksom i scenario 1 är en av evakueringsdörrarna blockerad vilket gör att den totala dörrbredden är 3.6 m.

Scenario 4

Samma som scenario 3 med tillägget att dörrbredden nu är lika med 4.8 m.

Scenario 5

I scenarierna 5-8 kommer det att finnas ett fungerande automatiskt brandlarm. Detta innebär att folk i lokalen kommer att upptäcka på ett tidigare stadium att det har börjat brinna. Detta kommer att påverka komponenterna D och R. Rökfyllnad bestäms av relation S_1 . Använd följande uttryck för D och R:

$$D_2 = 5.36\alpha^{-0.478}H^{0.7} \quad (A4)$$

$$R_2 - \text{Lognormal (130, 120) s} \quad (A5)$$

Observera att en dörr är blockerad vilket minskar dörrbredden till 3.6 m.

Scenario 6

Samma som scenario 5 med tillägget att dörrbredden nu är lika med 4.8 m.

Scenario 7

Både brandlarm och sprinklersystemet fungerar. Detta innebär samma uppsättning som scenario 5 med undantag för att relation S_2 används för rökfyllnad.

Scenario 8

Samma som scenario 7 med tillägget att dörrbredden nu är lika med 4.8 m.

A6 Utvärdering av säkerhetsnivåer

Förutsättningen är att vi har ett beräkningsverktyg i form av ett analytiskt uttryck eller ett datorprogram med vars hjälp kan beräknas deterministiskt om ett visst gränstillstånd är uppnått eller inte. Exempelvis kan utrymnings säkerheten uppskattas via ett uttryck $g(x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$, där $g < 0$ innebär att utrymnings marginalen < 0 är otillfredsställande. $x_1 \dots x_n$ är indata som brandutvecklingshastighet, byggnadens geometri, antal människor. Vid en riskberäkning ersätts de deterministiska värdena $x_1, \dots x_n$ med motsvarande stokastiska värden $X_1, X_2, \dots X_n$ och i stället för ett klart ja eller nej på frågan om utrymningen är tillfredsställande erhålls bara en sannolikhet för att detta gäller. $X_1 \dots X_n$ beskrivs alltså av statistiska fördelningar som måste hämtas från praktiska inventeringar eller subjektiv expertbedömning.

Låt oss anta att vi kan använda analytiska uttryck, dvs att gränstillståndet deterministiskt beskrivs via $g(x_1, \dots x_n) = 0$ och stokastiskt via $G(X_1, \dots X_n) = 0$. Vi antar vidare att vi behandlar bara ett brandfall, dvs att vi bara har en ekvation g eller G . Sannolikheten att $G < 0$ uttrycker sannolikheten P_f för otillfredsställande funktion. P_f kan nu utvärderas genom två helt skilda metoder

- genom Monte Carlo-simulering (metod B)
- genom säkerhetsindex-metod, FOSM (metod A)

Metod B innebär i princip att vi utgår från fördelningarna $X_1 \dots X_n$, hämtar slumpvisa värden från dessa, beräknar G och upprepar process, låt oss säga 5000-10000 ggr. Vi erhåller därvid en fördelning av G , och den yta av denna fördelning som uppfyller villkoret $G < 0$ är P_f .

Värdet på P_f ges enklast av $P_f = k/n$, där N = totala antalet beräkningar av G och k = det antal fall för vilka $G < 0$.

FOSM-metoden utgår från att vi känner medelvärde och standardavvikelse för variablerna $X_1 \dots X_n$ och att dessa kan transformeras till motsvarande uttryck för en standardiserad, normalfördelad variabel X'_i . I det vektor-rum som spänns upp av $X'_1, \dots X'_n$ definierar $g(X'_1, \dots X'_n) = 0$ en gränsyta som skiljer säker zon från osäker zon. Metoden beräknar den punkt $x^* = (x_1^* \dots x_n^*)$ på denna yta som är närmast origo. Denna punkt definierar mest trolig brott- eller felpunkt, och avståndet mellan origo och x^* betecknas säkerhetsindex β . För normalfördelade variabler och ett lineärt uttryck g är

$$P_f = \Phi(-\beta)$$

där Φ = den standardiserade normalfördelningsfunktionen. För andra fördelningar X_i och annat gränsuttryck g kan också P_f beräknas.

Om vi har ett antal scenarier beskrivs beräkningssituationen via ett händelseträd. För ett måttligt antal fall är det beräkningsmässigt möjligt att göra Monte Carlo-simuleringen av de olika "grenarna" av trädet och sedan väga samman de beräknade fördelningarna till en slutfördelning, som ger $P_f = k/N$ som förut. En metod att allmänt beräkna säkerhetsindex β blir mycket komplicerad. Om vi har ett mycket stort antal brandfall blir en fullständig osäkerhetsanalys enligt ovan orälistisk. Låt oss som exempel anta en kontorsbyggnad med stort antal moduler. En fullständig riskanalys på systemnivå "hel byggnad" kräver här att utrymningssäkerheten betraktas för olika standardbränder anlagda i samtliga rum, med och utan aktiva system, med dörrar öppna eller stängda, med varierande tid för brandkårsinsats, etc. Antalet scenarios växer snabbt till tusentals. Metodiken blir här att beskriva det fullständiga antalet brandfall via ett händelseträd och evaluera detta via kalkylblad som EXCEL eller Lotus 1-2-3.

A7 Länk riskberäkning - dimensionering

Antag att det riskbaserade kriteriet uttrycks som

$P(G(X_1, \dots, X_n) < 0) < P(\text{kritria})$ där $P(\)$ betecknar sannolikhet. Det ekvivalenta deterministiska kriteriet uttrycks då som

$$g(x_{1,d}, x_{2,d}, \dots, x_{n,d}) = 0$$

där $x_{1,d}, \dots, x_{n,d}$ betecknar de dimensionerande värden som insatta i uttrycket ovan ger en skyddsnivå med $P_f = P(\text{kriterium})$.

Vi har ovan sett att vi för givna $X_1, \dots, X_n$ erhåller den dimensionerande punkten $x^* = (x_1^* \dots x_n^*)$ på ytan $g(x_1 \dots x_n) = 0$ samt motsvarande β och P_f . Uppgiften är nu den delvis omvända; dvs att med utgångspunkt från givet β eller P_f beräkna $x_d = (x_{1,d} \dots x_{n,d})$, ekvivalent, $x^* = (x_1^* \dots x_n^*)$. Vanligen brukar dimensionerande värden $x_{i,d}$ skrivas som

$$x_{i,d} = \gamma_i x_{i,ch}$$

där $x_{i,ch}$ är ett karakteristiskt värde, definierat som exempelvis 80%- eller 95%-fraktilen av motvarande parameter X_i . I och med att FOSM direkt ger $x_{i,d}$, $i = 1 \dots n$, blir denna faktorisering av $x_{i,d}$ onödig men kan naturligtvis fortfarande göras.

Metoder att genomföra en säkerhetskontroll kan delas upp i 3 nivåer, nivå 1, 2 och 3.

Nivå 1: Säkerheten anges via dimensionerande värden

Nivå 2: Säkerheten anges genom ett säkerhetsindex och approximativt felkriterium P_f , beräknat med utgångspunkt för medelvärde och standardavvikelse för X_i , $i = 1, \dots, n$.

Nivå 3: Säkerheten anges genom ett exakt angivet felkriterium, beräknat genom att betrakta de fullständiga fördelningarna för X_i , $i = 1, \dots, n$.

Varje nivå kan bara valideras genom beräkningar på närmast högre nivå. Valet av dimensionerande värden x_i^* kan bara kontrolleras genom att de appliceras över en hel klass av byggnader ger så uniforma säkerhetsnivåer, dvs β eller P_f , som möjligt. Låt oss som exempel betrakta utrymningssituationen från en samlingslokal. x_i^* eller $x_{i,d}$ ska väljas så att β eller P_f , sett över samtliga byggnader med olika geometriska mått och antal personer/m², varierar så litet som möjligt, dvs avvikelsen från det normgivna värdet på β måste minimeras. På samma sätt kan β -värdena på nivå 2 verifieras genom att P_f minimeras över antalet möjliga fullständiga fördelningar. Dimensionering på nivå 3 kan verifieras på en nivå 4, innehållande krav på en ekonomisk optimering.

Tillgängliga statistiska fördelningar

En riskbaserad dimensionering kräver, som vi sett, att de stokastiska parametrarna X_i , $i = 1, \dots, n$, karakteriseras genom sina fördelningar eller åtminstone genom att första och andra statistiska momentet (= medelvärde och standardavvikelse) anges. Dessa data saknas till stor del och får därför anges genom subjektiv experbedömning. Detta görs regelmässigt genom t ex miljöområdet och en metodik har utvecklats för att göra denna expertbedömning så tillförlitlig och repeterbar som möjligt. Det är alltså nödvändigt att ett antal "standardfördelningar" härleds, och detta bör göras på basis av internationell samverkan.

