Risker och osäkerheter vid bedömning av bärförmåga vid brand

Risk har blivit ett centralt begrepp vid brandteknisk dimensionering under de senaste femton åren. Även om innebörden av att dimensionera efter beräknad risk fortfarande står inför många utmaningar så har möjligheten att beakta kombinationen av frekvenser och konsekvenser möjliggjort en mer nyanserad och effektiv utformning av en byggnads brandskydd. Dimensioneringen av bärande konstruktioner är dock fortfarande i huvudsak konsekvensbaserad, med liten möjlighet att beakta frekvenser och sannolikheter. Detta medför begränsade möjligheter att använda exempelvis aktiva system, vilka säkerställer att temperaturen i brandrummet blir så pass låg att konstruktionen behåller sin bärförmåga. I ett pågående forskningsprojekt, finansierat av Brandforsk, undersöks möjligheten till en riskbaserad dimensioneringsmetodik för bärande konstruktioner. Denna artikel är en sammanfattning av det första delprojektet, vilket syftar till att beskriva hur risk och osäkerhet hanteras i nuvarande dimensioneringsmetodik, samt tankar om framtida utvecklingsmöjligheter.

Risk betecknas vanligen som produkten av frekvensen (eller sannolikheten) för en händelse och den konsekvens som händelsen orsakar. För dimensionering av bärförmåga vid brand har CIB:s arbete på 1980-talet varit betydelsefullt. I sin probabilistiska dimensioneringsanvisning redovisar CIB en modell för att beräkna sannolikheten för kollaps vid brand. Hänsyn ska tas till sannolikheten att en brand uppkommer, att övertändning inträffar och att konstruktionen kollapsar vid övertändning. En acceptabel största sannolikhet för kollaps kan uppnås genom att påverka någon eller några av de tre delarna som bygger upp risken för kollaps vid brand. I teorin är det alltså möjligt att genom förbyggande insatser minska sannolikheten för brands uppkomst och därmed möjliggöra mindre brandmotstånd när väl övertändning inträffar. Trots att teorin möjliggör en ökad användning av aktiva system som exempelvis en sprinkleranläggning för att hitta en kostnadseffektiv utformning av brandskyddet har dimensioneringen av bärförmåga vid brand traditionellt sätt fokuserat på erforderligt brandmotstånd givet en fullt utvecklad rumsbrand och ett fullständigt brandförlopp. Under de senaste tio åren har det publicerats ett antal vägledningar om riskbaserad dimensionering som exempelvis ISO 2394 och Eurocode EN 1991-1-7. Dessa standarder innehåller metoder, principer och data som kan användas när risk ska användas i dimensionering av bärförmåga inklusive exempel på tillämpning för bärande konstruktioner under normala lastfall. Anvisningar specifika för bärförmåga vid brand är dock sparsamma. Bristen på information om praktiska tillvägagångssätt ledde till ett europeiskt forskningsinitiativ kallat ”Natural Fire Safety Concept” med målet att utveckla en mer realistisk och flexibel dimensioneringsmetodik för bärförmåga vid brand, där det är möjligt att ta hänsyn till aktiva brandskyddsystem och mer realistiska brandmodeller. Arbetet resulterade i en metod där den dimensionerande brandbelastningen tillåts variera med hänsyn till brandfrekvens och brandens allvarlighet samt med hänsyn till olika brandskyddsåtgärder som sprinkler, brandlarm, räddningstjänst etcetera. Metoden har inkluderats i appendix E i Eurocode EN 1991-1-2, men flera europeiska länder där bland Sverige har förbjudit dess användning. Det finns alltså ett glapp mellan önskemålen om att kunna arbeta med mer kostnadseffektiva modeller för att dimensionera bärförmåga vid brand och tillgänglig kunskap. Vidare saknas en entydig beskrivning av den säkerhetsnivå som konstruktionsreglerna ger upphov till, vilket medför att nivån varierar mellan byggnader samtidigt som den är okänd i de flesta fall. Det är alltså nödvändigt att med ökad kunskap överbrygga det glapp som råder mellan teorier och praktisk tillämpning för att kunna använda risk som dimensioneringsverktyg fullt ut.

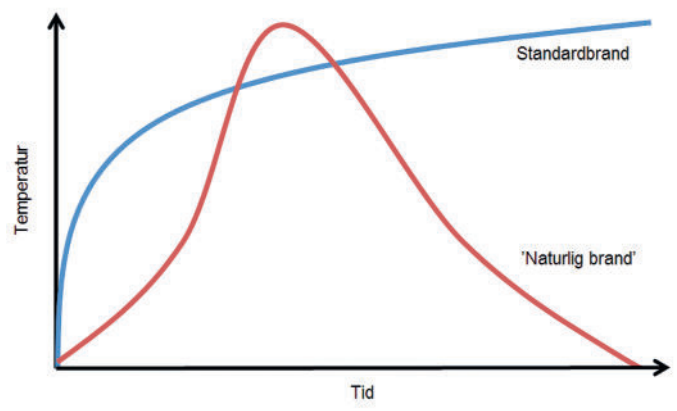
*Artikelförfattare är **Fredrik Nystedt**, konsult vid Wuz risk consultancy AB och doktorand vid avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds tekniska högskola.*

Dimensionering av bärande konstruktioner i dagsläget

Dimensionering av bärande konstruktioner ska ta hänsyn till flera olika typer av laster som permanenta, variabla och de laster som följer av olyckor. Både permanenta och variabla laster berör brukstillståndet och är alltid närvarande (även om de tillåts variera). För olyckslaster är det annorlunda. De är betydligt svårare att beskriva avseende storlek och varaktighet och exempel på sådana laster är explosion, kollision och brand. Dimensioneringsmetodiken för laster i brukstillståndet är i många fall lik den för olyckslaster och det är nödvändigt att belysa båda två för att identifiera metodikens styrkor och svagheter.

Kravet på den bärande konstruktionsdelen är relaterat till den säkerhetsklass som delen tillhör och indelningen i olika säkerhetsklasser styrs av den byggnadsdelens betydelse i händelse av en kollaps. Dagens dimensionering görs oftast med en halvprobabilistisk metod genom att använda karakteristiska värden på laster och materialegenskaper, samt specifika partialkoefficienter. Partialkoefficienten ska representera osäkerheter i de karakteristiska värdena och beräkningsmodellerna samt konsekvensen av en kollaps. Partialkoefficienterna är alltså en metod för att hantera osäkerheter och variation till följd av okända felmekanismer, inexakta teorier, högre laster, felaktiga materialegenskaper och mänskligt felhandlande. Dimensioneringskriteriet är enkelt. Bärförmågan ska vara större än lasten för alla relevanta lastkombinationer. Partialkoefficientmetoden är en av de metoder som beskrivs i ISO 2394 och den andra är en fullständig probabilistisk metod. I den senare används fördelningar för att beskriva laster och bärförmåga och sannolikheten för

kollaps, det vill säga sannolikheten att lasten överskrider bärförmågan, utvärderas mot ett specifikt värde på acceptabel risk. Tanken är att användningen av antingen partialkoefficientmetoden eller den fullständigt probabilistiska metoden ska ge upphov till likvärdig säkerhet. I Eurocode EN 1990 anges värden på acceptabel risk för kollaps kring 10^{-5} per år. För vissa konstruktioner (och byggnader) höjs säkerhetsnivån till 10^{-6} per år för att ta hänsyn till allvarligheten vid en kollaps. För andra byggnader tillåts en lägre säkerhetsnivå. Partialkoefficienterna för laster och materialegenskaper beräknas genom ett kalibreringsförfarande för att säkerställa att en tillräcklig säkerhetsnivå erhålls.



Figur 1: Illustration av standardbranden och den "naturliga" branden.

Bränder skiljer sig från andra olyckslaster då en brand inte kan beskrivas som en last uttryckt i exempelvis kN/m². En brand ger i stället upphov till en indirekt påverkan på konstruktionen då dess bärförmåga reduceras till följd av uppvärmning. Därför är det inte möjligt att behandla bränder som laster, även om de karakteriseras som sådana. För brand har i stället fokus legat på att utveckla modeller som beskriver temperaturen i brandrummet och hur de olika konstruktionsmaterialen påverkas av upphettning. Standardbrandkurvan som används vid brandprovning är det enklaste sättet att beskriva brandens temperaturutveckling, till viss del godtycklig utan hänsyn till vare sig ventilationsförhållanden eller omgivande konstruktioner. På 1970-talet togs en ny metodik fram för att bestämma temperaturen i brandrummet med hänsyn till brandbelastning, ventilationsförhållanden och konstruktionsmaterial. Metodiken kallades för naturligt brandförlopp och används fortfarande flitigt vid analytisk dimensionering av bärförmåga vid brand. I *figur 1* redovisas de två modellerna.

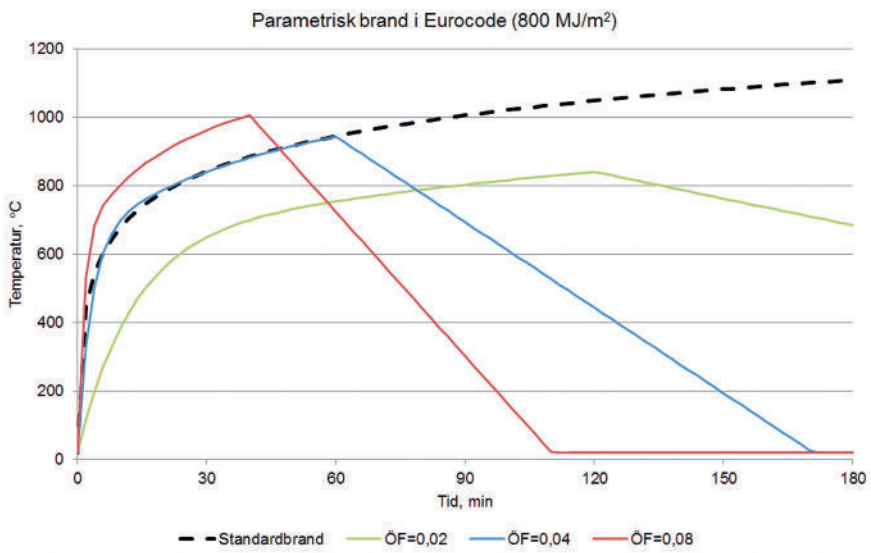
Kraven på den bärande konstruktionen i händelse av brand bestäms av brandsäkerhetsklassen som konstruktionsdelen tillhör, vilken i sin tur avgörs av den brandtekniska byggnadsklassen (Br1–Br3) och konstruktionsdelens säkerhetsklass (1–3). Även brandbelastning och byggnadens höjd påverkar kravnivån. För de flesta byggnader ska den bärande konstruktionen klara av ett fullständigt brandförlopp och för att visa detta finns det två principiellt åtskilda dimensioneringsmetoder. Den ena metoden bygger på provning och standardbranden och den andra bygger på beräkning och en modell av ett naturligt brandförlopp. Även om metoderna kan resultera i olika säkerhetsnivå anses båda uppfylla samhällets krav.

Tekniska byten mellan aktiva och passiva brandskyddssystem för att skydda den bärande konstruktionen introducerades på 1970-talet och bygger på ett sannolikhetsteoretiskt synsätt där de aktiva systemen minskar sannolikheten för övertändning, vilket medför att kraven på de passiva systemen kan minskas utan att den risken för kollaps förändras. Forskningsprojektet "Natural Fire Safety Concept" introducerade möjligheten att balansera det passiva brandskyddet genom att justera den dimensionerande brandbelastningen som används för att beräkna temperatur/tidkurvan vid ett naturligt brandförlopp och därmed möjliggöra lägre krav. Konceptet bygger på en användning av partialkoefficienter för olika aktiva brandskyddsåtgärder. Partialkoefficienten för ett sprinklersystem är exempelvis 0,61, vilket är den enda justering som idag tillåts i våra konstruktionsregler.

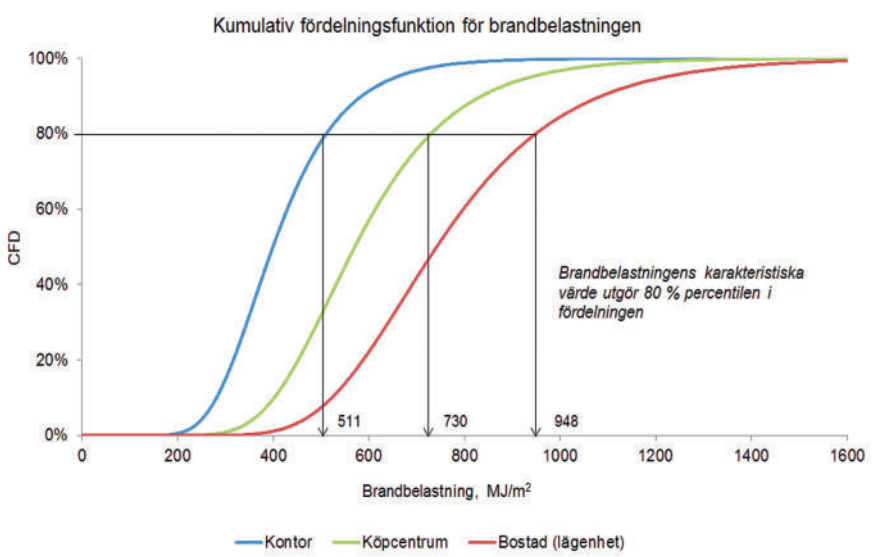
Problem med nuvarande dimensioneringsmetodik

Naturligtvis finns det flera fördelar med den nuvarande dimensioneringsmetodiken. Enkelheten i form av testförfarandet där ett konstruktionselement kan exponeras för en standardbrand för att sedan tillåtas användas i en byggnad ska inte underskattas. På senare tid har det dock kommit fram en del kritik och ifrågasättande av metoderna. Standardbranden anses inte vara representativ för verkliga bränder och när ett naturligt brandförlopp används införs en rad andra osäkerheter gällande indata, speciellt avseende brandbelastningens storlek. Eftersom dimensioneringsmetodiken är konsekvensbaserad är det inte heller möjligt att beskriva den faktiska säkerhetsnivån, vilket tillsammans med osäkerheterna gör att denna både varierar och i många fall är okänd. Något som varken projektörer eller myndigheter gynnas av.

En av de mest betydelsefulla parametrarna vid dimensionering av bärförmåga vid brand är brandgastemperaturen som omger konstruktionselementen då det är den som avgör hur deras bärförmåga påverkas av en brand. Osäkerheter i uppskattnigen av brandgastemperaturen har därför en stor påverkan på säkerhetsnivån. Prövningsförfarandet för en standardbrand är kostsamt och tidskrävande samtidigt som resultatet endast är användbart för den konstruktion som testats. Vissa geometriska begränsningar finns avseende konstruktionens storlek och lastförhållandena är ofta förenklade på ett sätt som skapar en osäkerhet i förhållande till verklig användning. Studier har visat att en och samma konstruktion klarade 84 minuter i ett test och 138 minuter i ett annat, samtidigt som andra studier visar att den faktiska förmågan oftast överstiger den angivna. Detta är en logiskt följd av att tester ofta avbryts när den önskvärda



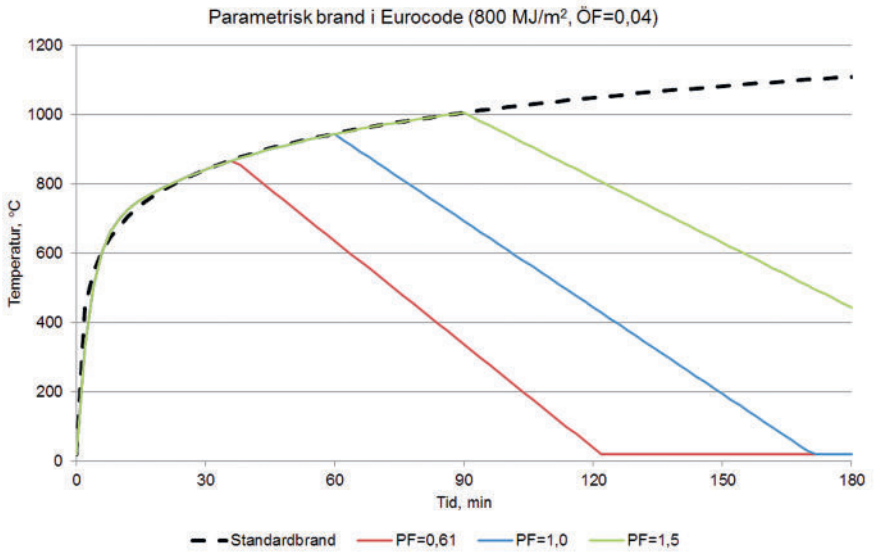
Figur 2: Öppningsfaktorns (ÖF) betydelse för den parametriska branden i Eurocode.



Figur 3: Brandbelastningens täthetsfunktion.

förmågan (till exempel R 60) har påvisats. Testresultatet ger därför inget besked om den faktiska förmågan vid en brand.

Det naturliga brandförloppet anses vara den bästa modellen för att beskriva de faktiska förhållandena i brandrummet. Men, även denna modell har flera stora osäkerheter relaterad till bland annat antaganden om en likformig temperaturfördelning och identifierade avvikelser mot verkliga bränder. Temperatur/tidkurvan för det naturliga brandförloppet utgår från *Magnusson* och *Thealanderssons* teorier och beräkningar med en enzonsmodell och en likformig temperaturfördelning i hela rummet. Ett sådant antagande har begränsat giltighetsområde och därför har Eurocode EN 1991-1-2 begränsat användningen av modellen till rum med mindre än 500 m² och en takhöjd på maximalt 4 m. Försök har dock visat att även temperaturfördelningen även i mindre brandceller inte är likformigt fördelad. Det finns ett beroende relaterade till bränsletyp, brandrummets utformning och öppningarnas placering som skapar avvikelser mellan verkliga bränder och de som beskrivs med det naturliga brandförloppet. Ytterligare en försvårande omständighet är hanteringen av öppningsförhållandena. Modellen utgår från att samtliga öppningar till det fria som saknar brandteknisk klass är öppna, ett antagande som spelar mycket stor betydelse både för den maximala temperaturen i brandrummet samt brandens varaktighet (se *figur 2)*. Vidare har det visats att syntetiska material ger högre temperaturer än de träbaserade material som modellen bygger på. Det har också uttryckts tvivel avseende avsvalningsfasens beskrivning, en variabel vars betydelse är påtaglig för betongkonstruktioner, vilka fortsätter att tappa hållfasthet även efter att branden avtagit. Modellerna utgår också från att



Figur 4: Partialfaktorernas (PF) betydelse för den parametriska branden i Eurocode.

övertändning inträffat. I stora lokaler kan det vara svårt att uppnå kriterierna för övertändning, även om förhållandena lokalt kan vara lika allvarliga. Forskning avseende bränder som förflyttar sig i en byggnad har påbörjats och i vissa fall kan dessa ge större påverkan än vad som är fallet om ett naturligt brandförlopp används.

I modellen för naturligt brandförlopp har brandbelastningens storlek en avgörande betydelse. Brandbelastningen i olika typer av verksamheter kartlades för 40 till 50 år sedan och det är viktigt att undersöka hur relevanta dessa data är idag, framförallt med tanke på ökad användning av syntetiska material i möbler och inredning. Boverkets handbok om brandbelastning redovisar karakteristiska värden (80 procent percentilen) på brandbelastningen i olika typer av byggnader som kontor, hotell, bostäder, köpcentra etcetera. I Eurocode EN 1991-1-2 redovisas samma data inklusive information om typ av fördelning, dess medelvärde och dess standardavvikelse, vilket gör det möjligt att rita upp deras fördelningsfunktioner (se *figur 3*). Relevansen i Eurocodes brandbelastningsdata har nyligen undersökts och för både kontor och köpcentra noterades stora avvikelser (upp till 40 procent). Motsatta förhållanden gäller för sjukhus, medan hotell visar en god överensstämmelse. Träbaserade material är fortfarande dominerande då syntetiska material förekommer endast till en mindre del. Att använda generella data för brandbelastningen för en typ av byggnad, exempelvis köpcentra, kan resultera i en osäkerhet huruvida den dimensionerande brandbelastningen är representativ för en enskild brandcell. Eurocode anger exempelvis att medelvärdet för köpcentra är 600 MJ/m² samtidigt som det är känt att bokaffärer har en dubbelt så hög brandbelastning. Sannolikheten att den dimensionerande brandbelastningen överskrids i denna typ av lokaler är större än 80 procent, vilket kan jämföras med 20 procent som är det acceptabla värdet i dimensioneringsmetodiken.

Installation av sprinkler ger projektören en möjlighet att minska det passiva brandskyddet. Dock är möjligheterna att använda andra aktiva system som brandgasventilation, gassläcksystem och räddningsinsats ges inte samma möjlighet. En nyckelfråga i sammanhanget är att bestämma vilken miniminivå som krävs på det passiva brandskyddet för att kompensera för de fall då det aktiva systemet inte fungerar som avsett. Metodiken där brandbelastningen reduceras med en partialkoefficient ger en konstruktion som dimensioneras för lägre maximal temperatur och kortare brandvaraktighet. I *figur 4* visas hur temperatur/tidkurvan påverkas av olika värden på partialkoefficienten. Normalt används värdet 1,0, men om sprinkler installeras kan 0,61 användas. I

höga byggnader krävs ofta en ökad säkerhet, vilket fås genom att använda en partialkoefficient på 1,5. Notera att kurvornas tillväxt är identisk oavsett partialkoefficient, något som kan ifrågasättas i sprinklade byggnader där brandförloppet snarare blir förhållandevis intensivt, men kortvarigt.

Tankar om framtiden

Redan för 30 år sedan konstaterade CIB att den enda metod som på ett effektivt sätt kan hantera de osäkerheter relaterade till bärförmåga vid brand är en riskbaserad dimensioneringsmetodik. Viss vägledning finns i Eurocode EN 1991-1-7 där det anges att risken för kollaps kan beräknas med kännedom om brandfrekvensen, sannolikheten för en allvarlig brand och sannolikheten att brandens varaktighet överskrider konstruktionens kapacitet. Risken för kollaps kan då värderas mot en acceptabel säkerhetsnivå. För att den riskbaserade dimensioneringsmetodiken ska kunna få ett genombrott krävs alltså väl förankrade kriterier för acceptabel risk. Begrepp som individ- och samhällsrisk, vilka vanligen används inom andra riskhanteringsområden, bör studeras och beaktas även för bärande konstruktioner. Det är önskvärt om det går att uttrycka acceptabel risk endast med ett mått på sannolikheten för konstruktionskollaps då det finns alldeles för stora osäkerheter relaterade till bedömningen av den faktiska konsekvensen av en kollaps. Svårigheterna är avsevärda gällande när kollaps intäffar samt antalet personer som inte hunnit utrymma vid denna tidpunkt. Det ska också poängteras att kriterier för acceptabel risk måste kompletteras med en specifik och tydlig dimensioneringsmetodik, då metodiken spelar alldeles för stor roll i uppskattningen av riskens storlek.

De olika strategier för att hantera olyckslaster som redovisas i ISO 2394 omfattar en minskning av sannolikheten för att lasten uppkommer, en minskning av lastens storlek samt en minskning av den påverkan som lasten ger upphov till. Utifrån ett filosofiskt synsätt borde det vara godtyckligt för samhället huruvida bärförmåga vid brand säkerställs genom förebyggande eller skadebegränsande åtgärder. Dock, är det av betydelse att undersöka principiella skillnader mellan egenskaperna för aktiva och passiva system och vad som händer när dessa system är otillgängliga. I sammanhanget är det stor skillnad på om vattnet är avstängt till sprinklersystemet eller om täckskiktet på brandskyddsfärgen är för tunt.

Genomgången av nuvarande dimensioneringsmetodik fann flera problem med modellerna för uppskattning av brandrummets temperatur som måste hanteras. Brandbelastningens storlek är särskilt intressant då denna är förknippad med stor variation och stora osäkerheter. Rimligheten i att använda generell brandbelastningsdata i kombination med lokala variabler exempelvis avseende värmeledning och öppningsförhållanden bör ifrågasättas. Det koncept med partialkoefficienter som introducerades i samband med ”Natural Fire Safety Concept” är lovande, men behöver utvecklas och kompletteras med ytterligare partialkoefficienter relaterade till variation och osäkerheter i brandbelastningsdata och de fysikaliska modellerna. Det är också nödvändigt att studera i vilket skede som dessa partialkoefficienter ska tillämpas. Att enbart justera brandbelastningens storlek kommer med största sannolikhet att försumma betydelsefulla delar kopplade till temperatur/tidkurvan. Nästa steg i detta Brandforskfinansierade projekt om en riskbaserad dimensioneringsmetodik för bärförmåga vid brand är att välja ut de variabler och parametrar som har störst betydelse i uppskattningen av temperatur/tidkurvan. Ett arbete som förväntas pågå under det närmsta året. ■

Referenser

Kersken-Bradley, M., Pettersson, O., Schneider, U., Twilt, L., Vrouwenvelder, A. & Witteveen, J., *A conceptual approach towards a probability based design guide on structural fire safety*, CIB W14 Workshop ”Structural Fire Safety”, Fire Safety Journal, Vol. 6, No. 1, 1983.

European Commission, *Natural Fire Safety Concept – Full-scale tests, implementation in the Eurocodes and development of a user-friendly design tool (final report)*, Report EUR 20580, 2003. European Standard, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions, EN 1991-1-7, 2006.

European Standard, Eurocode 1: A*ctions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire,* EN 1991-1-2, November 2002.

International Organization for Standardization, *General principles on reliability for structures*, ISO 2394:1998.

Magnusson, S.E. & Thelandersson, S. *Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development,* Civil Engineering and Building Construction Series No. 65, Acto Polytechnica Scandinavica, 1970.